МАССОВАЯ РАДИО-БИБЛИОТЕКА

С. А. НЕЙМАН

ЗАЩИТА РАДИОПРИЕМА ОТ ПОМЕХ



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ РАДИООБМЕНА
(по А. Н. Шукину)

Телеграфия	Длинные волны	На слух 40 *мкв/м* Быстродейсгвне 150 *мкв/м*
	Средние волны	На слух 15 *мкв/м*
	Короткие волны	На слух 5 *мкв/м* Быстродействне 15 *мкв/м*
	Ультракороткие волны	На слух 7 *мкв/м* Быстродействие до 50 *мкв/м* (в городах)
Коммерческая телефония	Длинные волны	800 *мкв/м*
	Средние волны	150 *мкв/м*
	Короткие волны	15 *мкв/м*
	Ультракороткие волны	150 *мкв/м* (в городах)
Радиовещание	Средние волны	В большом городе 10 000 *мкв/м* В среднем городе 4 000 *мкв/м* В сельской местности 1 000 *мкв/м*
	Короткие волны	В городе 200 *мкв/м* В сельской местности 100 *мкв/м*

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 123

С. А. НЕЙМАН

ЗАЩИТА РАДИОПРИЕМА ОТ ПОМЕХ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1951 ЛЕНИНГРАД

В брошюре рассматриваются вопросы происхождения различного рода помех радиоприему и описываются способы, которые использует современная радиотехника для повышения помехоустойчивости радиоприемника.

Брошюра рассчитана на подготовленного радиолюбителя.

Редактор *А. И. Лоев.* Техн. редактор *С. Н. Бабочкин*

Сдано в набор 8/VI 1951 г. Подписано к печати 29/X 1951 г.
Бумага $84 \times 108^1/_{32} = 1^1/_4$ бумажным — 4,10 п. л. Уч.-изд. 4,3
Т-08317. Тираж 25 000 Зак. 1218

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10

ВВЕДЕНИЕ

С первых шагов практического использования радио стало очевидным, что исправность передающей и приемной аппаратуры является далеко недостаточным условием для качественного и устойчивого приема переданных сигналов. Было установлено, что кроме определенных условий прохождения радиоволн в атмосфере, существует ряд побочных причин, которые не только могут в той или иной мере ухудшить качество радиоприема, но порой могут сделать его и совершенно невозможным. Этими причинами являются различного рода физические процессы вне и внутри приемника, вызывающие помехи радиоприему. Природа радиопомех, их воздействие на приемное устройство и меры защиты от помех были и остаются предметами изучения и изыскания крупнейших радиоспециалистов.

Впервые изучение радиопомех было начато нашим великим соотечественником, изобретателем радио А. С. Поповым. С помощью изобретенного им радиоприемника («грозоотметчика») он обнаруживал атмосферные электрические явления и установил, что действие грозового разряда при радиоприеме аналогично действию разряда конденсатора. Благодаря открытиям Попова была вскрыта физическая сущность важного вида радиопомех — помех атмосферных.

Советские ученые и инженеры продолжали и продолжают славные традиции А. С. Попова. Известные советские ученые — радиоспециалисты Л. И. Мандельштам, Н. Д. Папалекси, М. А. Бонч-Бруевич, А. Н. Щукин, В. А. Котельников, Н. Н. Крылов, В. И. Сифоров, Е. Г. Момот, А. А. Пистолькорс и др. сделали колоссальный вклад в дело изучения радиопомех и разработки способов борьбы с ними. По своему значению работы советских ученых значительно превосходят достижения зарубежной науки и техники.

Однако вопрос борьбы с радиопомехами, возникший на заре радиотехники, продолжает и на современном этапе развития науки оставаться одним из актуальных и важных вопросов. Пути развития радиотехники в значительной мере определяются именно задачей избавления радиоприема от помех. Достаточно указать хотя бы на тот факт, что проводимое в настоящее время внедрение частотной и других видов модуляции, вызывается в первую очередь стремлением наилучшим образом решить указанную задачу.

Цель настоящей брошюры состоит в том, чтобы кратко ознакомить советских радиолюбителей с природой радиопомех, их влиянием на прием и с теми способами, которые в настоящее время использует радиотехника в деле защиты радиоприема от вредного действия помех. Знание этих вопросов поможет радиолюбителю как при проектировании и конструировании высококачественной радиоаппаратуры, так и в практике ведения самого радиоприема.

Различают весьма значительное количество видов радиопомех. Источники большинства радиопомех находятся вне приемного устройства и, таким образом, они являются по отношению к нему *внешними помехами*. Некоторые же виды помех обязаны своим существованием процессам, происходящим в самом приемном устройстве и поэтому они получили название *внутренних помех* или *шумов*.

Кроме такого разграничения, радиопомехи разделяются на помехи *активные* и помехи *пассивные*. К пассивным помехам относятся те виды помех радиоприему, которые обусловливаются нарушением нормальных условий распространения радиоволн от передатчика к приемнику (явление замирания, радиоэхо, Горьковско-Люксембургский эффект и т. п.).

Активные помехи имеют характер электромагнитных колебаний или импульсов и они воздействуют непосредственно на приемное устройство. Паразитные электродвижущие силы, создаваемые активными помехами, оказывают свое мешающее действие радиоприему самым различным образом. При радиовещательном приеме они могут вызывать в телефонных трубках или громкоговорителе прослушивание посторонних радиостанций, свисты, трески, шипение и прочие эффекты, которые искажают

принимаемую передачу или вовсе делают невозможным ее прослушивание.

Активные помехи создаются природными или искусственными источниками электромагнитных возмущений. В соответствии с этим различают две категории активных помех. К первой относятся, например, атмосферные помехи, помехи, обусловленные радиоизлучением солнца, и другие виды помех, объединяемые общим названием природные помехи, а ко второй — промышленные помехи, помехи от посторонних радиостанций, внутренние шумы приемника.

Рассмотрим более подробно каждый из видов радиопомех и способы борьбы с ними.

ВНЕШНИЕ АКТИВНЫЕ ПОМЕХИ

Атмосферные помехи

Естественные процессы электрического характера, происходящие в земной атмосфере, вызывают помехи радиоприему, которые обнаруживаются в громкоговорителе или телефонных трубках в виде резких тресков, щелчков или сильных шорохов. Эти помехи, получившие название атмосферных, имеют своими источниками:

1) грозовые разряды между разноименно заряженными землей и грозовой тучей или между двумя грозовыми тучами;

2) явление электризации приемных антенн атмосферным электричеством;

3) атмосферные осадки и песчаные бури.

Грозовые помехи, т. е. помехи, создаваемые грозовыми разрядами — молниями, являются основным типом атмосферных помех. Исследования ученых-физиков, в первую очередь гениального М. В. Ломоносова, позволяют представить картину происхождения и развития наиболее часто встречающейся, так называемой линейчатой, молнии [1], примерно следующим образом.

Грозовые тучи, т. е. такие тучи, которые заряжены отрицательным или положительным электрическим зарядом, образуются за счет сильных воздушных течений,

---

[1] Реже встречаются шаровая молния, имеющая вид ярко светящегося шара, и четочная молния, состоящая из ряда ярко светящихся узлов.

имеющих место на высоте более 1—2 *км* над уровнем земли. Эти сильные воздушные течения вызывают нарушение электрического равновесия мельчайших частиц воды, из которых состоят облака. В результате этого в облаке или туче образуются частицы, заряженные разноименно. Под дальнейшим воздействием воздушных течений отрицательно заряженные частицы отделяются от заряженных положительно и, скапливаясь вместе, образуют тучу, заряженную отрицательным электричеством. Аналогично создаются и положительно заряженные тучи.

Постепенное увеличение зарядов грозовых туч влечет за собой увеличение разности потенциалов как между ними, так и между каждой из них и землей. При достижении разности потенциалов, например, между тучей и землей, некоторого критического значения (порядка нескольких сот миллионов вольт) возникает электрический разряд, распространяющийся от тучи к земле с очень большой скоростью. Однако этот первый разряд, так называемый лидер, земли не достигает. Вслед за лидером, по пути, проложенному им, следует второй разряд, который подвигается на 50—60 *м* ближе к земле. Третий, четвертый и т. д. разряды все ближе и ближе приближаются к земной поверхности, пока один из последующих разрядов не достигнет ее. Разряд в атмосфере при грозе (молния) весьма напоминает пробой конденсатора.

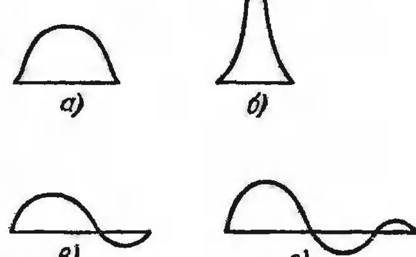
Изучение процесса развития молнии позволило сделать заключение, что грозовой разряд представляет собой весьма мощный электрический импульс (ток при грозовом разряде достигает сотен тысяч ампер) или группу импульсов длительностью до 2—3 *мсек* (1 *мсек* $= 10^{-3}$ сек.). Эти электрические импульсы имеют преимущественно апериодическую или полупериодическую форму (фиг. 1).

Анализ э. д. с. таких форм производил советский ученый проф. Н. Н. Крылов. Его исследования показывают, что каждую из них можно представить в виде суммы синусоидальных колебаний с частотами от нуля до бесконечности. Иначе говоря, нет такой частоты, которая не находилась бы в составе э. д. с. апериодической или полупериодической формы — спектр импульсной э. д. с. непрерывен и бесконечен.

Величина же амплитуд составляющих импульсных э. д. с. различна. Как это следует из фиг. 2, на которой графически изображена зависимость величины амплитуд

составляющих импульса типа *г* (фиг. 1) от частоты, с повышением последней величина амплитуд уменьшается. Это положение справедливо не только для данного типа импульса, но и для импульса почти любой формы.

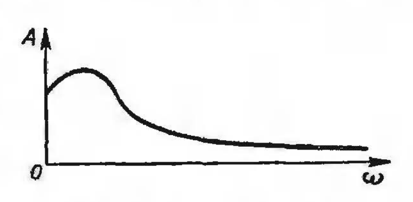
Замечание об особенностях э. д. с. апериодической и полупериодической форм позволяет сделать очень важные выводы о том влиянии, которое должны оказывать грозовые разряды на радиоприем. Эти выводы сводятся к следующему:



Фиг. 1. Формы электрических импульсов от грозовых разрядов.

1. Грозовые разряды порождают паразитные электрические колебания на всех частотах, в том числе и на частотах, расположенных в диапазоне радиоприемника. Таким образом, помехи, обусловленные грозовыми разрядами, должны ощущаться на любой из волн, на которую настроен приемник.

2. Грозовые помехи должны действовать на весьма большие расстояния, так как распространение составляющих э. д. с. грозового разряда подчинено тем же законам, которым подчинено распространение искусственно создаваемых радиоволн. Следовательно, помехи радиоприему могут создавать как местные грозовые разряды, так и грозы, происходящие далеко от места приема.



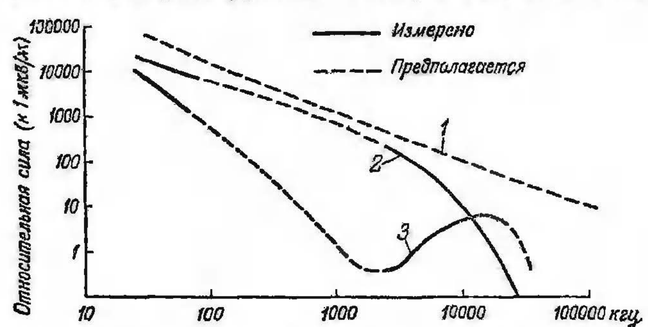
Фиг. 2. Спектр частот э. д. с. апериодической формы.

3. Грозовые помехи должны сильнее ощущаться на длинных волнах, чем на коротких.

Длительные наблюдения за характером грозовых помех полностью подтверждают эти предположения. На фиг. 3 представлены кривые, характеризующие зависимость действия грозовых помех от длины волны. Хотя указанные на графике уровни весьма приближенны, но

общую картину распределения грозовых помех по диапазону радиочастот они отражают достаточно верно — уровень грозовых помех выше на длинных волнах и ниже на коротких.

Кривая *1* относится к помехам, возникающим за счет местных гроз. Ход этой кривой находится в полном соответствии с нашими предположениями. Кривые *2*, *3*, относящиеся к помехам, образующимся за счет дальних гроз, по своему характеру несколько отличаются от кривой *1*, хотя и в этом случае уровень помех, в общем, с повышением частоты понижается. Отличие характера кривых *2* и *3* является результатом особенностей распространения различных составляющих грозового разряда. Например, в дневные часы в коротковолновом диапазоне отмечается возрастание уровня грозовых помех. Это происходит вследствие того, что днем поглощение коротких волн в атмосфере уменьшается. В диапазоне УКВ уровень грозовых помех резко падает, и грозовые помехи проявляются очень слабо. Их уровень в основном определяется местными грозами. Влияние помех на УКВ за счет дальних гроз почти совершенно не ощущается. Это также объясняется особенностью распространения УКВ — они, как известно, распространяются в основном в пределах прямой видимости.



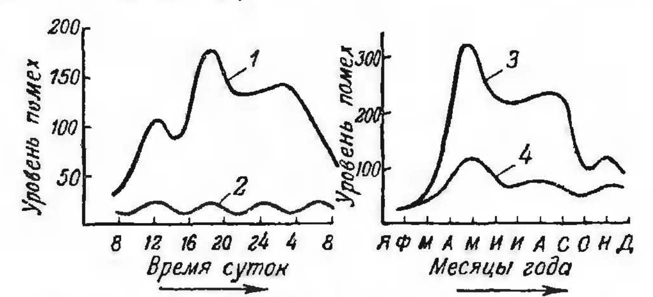
Фиг. 3. Распределение грозовых помех по диапазону радиочастот.

1 — местная гроза; *2* — ночь; *3* — день.

Уровень грозовых помех сильно меняется со временем. На фиг. 4 приведены кривые, характеризующие изменения уровня грозовых помех в течение суток и в течение года. Эти кривые показывают, что уровень грозовых по-

мех бывает наиболее высок летом. К моменту захода солнца, перед рассветом и около полудня грозовые помехи проявляются с особой силой. Зимой уровень грозовых помех значительно ослабевает, что в основном связано с уменьшением грозовой деятельности в атмосфере.

Наблюдения показывают также, что уровень грозовых помех изменяется от года к году, достигая наибольшей величины в периоды, когда имеет место наибольшая солнечная активность (наименьшее количество наблюдаемых пятен на солнце).



Фиг. 4. Кривые изменения уровня грозовых помех в течение суток и в течение года.
1 — лето; *2* — зима; *3* — 15 час; *4* — 9 час.

Весьма существенное значение с точки зрения проявления мешающего влияния грозовых помех имеет место расположения приемного устройства на земном шаре. Дело в том, что интенсивность грозовой деятельности не одинакова в различных районах нашей планеты. Тропики являются особенно сильными очагами атмосферных помех. В СССР основными центрами возникновения грозовых помех являются тундра Европейской части и юго-восток (Северный Кавказ). Первый очаг зимой почти не проявляет активности, а второй существует круглый год; в летние месяцы он сказывается особенно сильно. Естественно, что чем ближе пункт приема к очагам возникновения помех, тем хуже условия приема. Географические направления, с которых воздействие помех на антенну особенно сильно, соответствуют азимутам грозовых очагов.

Грозовые помехи тем сильнее мешают радиоприему, чем меньше географическая широта пункта расположения приемного устройства. Замечено также, что интенсив-

ность грозовых помех меньше у берегов моря, чем внутри континента. В низменной местности грозовые помехи сказываются меньше, чем в гористой, и т. д.

Грозы—довольно обыденное явление для нашей планеты. Общее число гроз за год на всем земном шаре оценивается в 16 млн., т. е. ежедневно происходит 44 000 гроз. В каждую секунду бывает около 100 молний. Приведенные цифры убедительно говорят о том, что с грозовыми помехами приходится серьезно считаться.

Необходимо отметить, что местные грозы, помимо того, что они являются мощными источниками помех, в случае использования наружной антенны представляют значительную опасность для самого приемного устройства и даже для жизни радиослушателя. В истории русской техники известен случай, когда молния, ударившая в антенну, использовавшуюся для опытов с атмосферным электричеством, проникла через ввод в помещение и убила друга М. В. Ломоносова крупного физика Г. В. Рихмана. Поэтому во время грозы необходимо наружную антенну с помощью специального переключателя обязательно заземлять.

Помехи от электризации. Выше указывалось, что кроме грозовых разрядов атмосферные помехи вызываются также явлением электризации приемных антенн. Такого рода помехи прослушиваются в виде нерегулярно следующих друг за другом «сухих» тресков.

Установлено, что земля является источником радиоактивного излучения. Под влиянием этого излучения, а также под воздействием так называемых космических лучей происходит ионизация газов, входящих в состав воздуха. Как следствие этого в земной атмосфере создается электрическое поле, напряженность которого растет с повышением уровня над землей и достигает весьма значительной величины (до 100 *в/м* в обычные дни и до десятков тысяч вольт на метр в грозовые дни). Наличие атмосферного электричества в случае, если приемная антенна изолирована от земли (как это имеет место при емкостной связи с антенной), обусловливает появление на ней статического электрического заряда значительной величины. Вследствие этого антенна по отношению к земле приобретает некоторый потенциал, причем тем больший, чем выше антенна. По достижении некоторого критического значения разности потенциалов между антенной

и землей происходит искровой разряд, прослушивающийся в виде сильного «сухого» треска. Разрядившаяся антенна после этого начнет снова заряжаться и по истечении некоторого промежутка времени второй искровой разряд вызовет в приемнике еще один треск и т. д. Сухие трески создают весьма характерное и неприятное ощущение.

Другой вид радиопомех, обусловленный явлением электризации и проявляющийся в виде сильного треска, переходящего в свист, возникает в заземленных антеннах (т. е. при индуктивной связи антенны с входным контуром): Этот вид помех обычно связан с грозовой деятельностью.

В грозовые дни напряженность электрического поля в атмосфере достигает нескольких десятков тысяч вольт на метр; создается разность потенциалов между атмосферой и верхней частью антенны (имеющей потенциал земли), которая вызывает так называемый тихий разряд, проявляющийся в истечении электричества с острых концов антенны в воздух. Это истечение сопровождается световым эффектом в виде синего свечения, которое бывает заметно ночью, а иногда и днем.

Помехи от осадков. Во время выпадения атмосферных осадков (дождь, град) или во время песчаных бурь при пользовании наружной антенной в громкоговорителе возникает своеобразный шум (шипение). Эти радиопомехи, называемые иногда осадочными помехами, часто делают прием совершенно невозможным (особенно в арктических районах во время пурги). Такого рода помехи создаются в результате возбуждения в антенне электрических колебаний под действием ударяющих в нее заряженных частиц.

Прочие виды природных радиопомех

Не только в земной атмосфере, но и в ионосфере имеют место явления, вызывающие активные помехи радиоприему. В частности, в районах, прилегающих к земным полюсам, радиопомехи создаются полярным сиянием. Эти помехи резко ухудшают качество приема в указанных районах.

В 1936—1937 гг. радиолюбителями-коротковолновиками на ультракоротких волнах порядка 9—10 *м* (т. е. в диа-

пазоне, обычно мало подверженном действию помех) было замечено появление особых помех, порой весьма сильных, которые создавали в приемнике своеобразный шум. Бурное развитие техники ультравысоких частот за последнее десятилетие, особенно в радиолокации, заставило детально исследовать происхождение и определить источники этого вида помех. Оказалось, что эти помехи не имеют никакого отношения ни к явлениям в атмосфере, ни к явлениям в ионосфере. Они являются помехами космического происхождения, т. е. берут свое начало в межпланетном пространстве. Установлено, что так называемые космические шумы представляют собой помехи вследствие излучения электромагнитных колебаний из области млечного пути. Излучение проявляется в широком диапазоне радиочастот и из разных областей млечного пути происходит неодинаково интенсивно. Главный источник излучения находится в созвездии Скорпиона-Стрельца. Интенсивность этого излучения, как показали измерения, также меняется и со временем. Например, утром в длинноволновом участке метрового диапазона оно сильнее, чем в середине дня. Уровень космических шумов резко изменяется с частотой. В диапазоне частот от 18 до 160 *мггц* уровень шумов падает пропорционально кубу частоты. Кроме того, в этом диапазоне на некоторых волнах наблюдается периодичность в появлении максимума интенсивности излучения.

Перечисленные особенности космических шумов и другие их свойства в настоящее время продолжают детально исследоваться учеными нашей страны.

Солнце, как оказалось, является мощным источником излучения радиочастот. Изучением характера радиоизлучения солнца занимались советские ученые под руководством Н. Д. Папалекси. Наблюдениями экспедиции Академии наук СССР во время солнечного затмения 20 мая 1947 г. было установлено, что различные части солнечной поверхности обусловливают излучения различных частот и что, кроме того, интенсивность излучения различными участками солнечной поверхности неодинакова. Выяснено также, что уровень принимаемого солнечного шума высок только на определенных волнах; особенно сильно он ощущается на волнах от 5 до 6 *м*.

Промышленные помехи

Различные промышленные и бытовые электрические устройства, а также электросети могут создавать помехи радиоприему, так называемые промышленные или индустриальные помехи.

Источником промышленных помех может быть любая электрическая цепь, в которой происходят частые и резкие изменения тока, обычно связанные с разрывом контактов, искрообразованием, появлением утечки тока через изоляцию, ионизацией газа. Кроме того, их источником могут быть приборы, генерирующие высокую частоту.

Мощными источниками помех являются трамваи, троллейбусы и электропоезда, движение которых сопровождается весьма частым прерыванием контакта между воздушным проводом и токоприемником. Резкое изменение тока или искрообразование могут иметь место в электродвигателях и генераторах (искрение щеток) во всевозможных реле, в рентгеновских установках, в звонках, пылесосах и других бытовых электроприборах.

Промышленные помехи создаются также за счет таких электроустройств, в которых искра, дуга, вообще резкие изменения тока специально создаются и используются. Примерами таких устройств могут служить электросварочные аппараты, магнето системы зажигания двигателей внутреннего сгорания (в том числе автомобильных), различного рода электромедицинские аппараты, дуговые электропечи, дуговые прожекторы и многие другие.

В настоящее время широкое распространение получили специальные высокочастотные генераторы, используемые в промышленности и медицине (индукционные высокочастотные печи, агрегаты для сушки древесины, аппараты для электротерапии, диатермии и др.). Эти аппараты, как правило, являются источниками радиопомех. Приборы и установки, использующие явление ионизации газа (неоновые и кварцевые ртутные лампы, ртутные выпрямители и др.), также являются источниками помех радиоприему. В некоторых случаях ощущаются сильные помехи (в виде свистов) от расположенных вблизи соседних радиоприемников (за счет плохо экранированных регенераторов и гетеродинов или наличия паразитных связей их с антенной).

Практически, любой электроприбор, любая установка или схема могут создавать помехи радиоприему. Известно, например, что неисправные осветительные и силовые выключатели, штеккеры и розетки, неисправный или небрежный монтаж могут служить причинами появления помех, причем значительно более сильных, чем от мощных электросиловых устройств (особенно если последние находятся далеко от места установки приемников).

Промышленные помехи имеют преимущественно импульсный характер. С особенностями импульсных э. д. с. мы уже знакомы по атмосферным помехам. Следовательно, и в этом случае возникающие паразитные электрические колебания содержат частоты от нуля до бесконечности, а амплитуды их убывают с повышением частоты. Многочисленные исследования показывают, что промышленные помехи ощущаются во всем диапазоне радиочастот, причем наиболее интенсивно на длинных и средних волнах. Правда, в некоторых случаях, например, при работе системы зажигания двигателей внутреннего сгорания, наиболее высокий уровень помех отмечается в коротковолновом и даже ультракоротковолновом диапазонах.

Промышленные помехи могут проникнуть в приемное устройство либо непосредственно из источника помех, либо из электросети источника или, наконец, через какую-нибудь постороннюю сеть, находящуюся в сфере влияния собственной сети источника. Непосредственное излучение источника обычно мало интенсивно, поэтому такие помехи если и попадают в приемник через антенну и провода заземления, то ощущаются практически лишь в небольшом радиусе (до 100—200 *м*). Главную роль в проникновении помех в приемное устройство играет в основном емкостная, и в меньшей степени — индуктивная связь антенны и проводов заземления с собственной сетью источника помех или с сетями, каким-либо образом связанными с источником. Такими сетями могут быть, например, домашняя электроосветительная проводка, воздушные электроосветительные, телефонные, радиотрансляционные и прочие сети. Так как антенна или ее ввод часто расположены в непосредственной близости от указанных сетей, то паразитные электрические колебания легко достигают входа приемника. Все это говорит о том, что промышленные помехи, воздействующие через

провода и сети, в отличие от помех, излучаемых непосредственно источником, могут оказывать вредное действие на весьма значительных расстояниях.

Уровень помех, создаваемый действием электрических установок, в разных местах одного и того же населенного пункта может различаться в десятки раз. Если прием в различных пунктах города ведется даже на одной и той же волне и однотипными приемниками, то величина уровня помех в каждом из них будет определяться следующими обстоятельствами:

1) количеством и типами электрических установок, действующих в окрестности данного приемного пункта;

2) состоянием и характером электросетей в районе пункта приема;

3) расстоянием от пункта приема до электроустановок;

4) типом и расположением приемной антенны.

Таковы, кратко, особенности образования промышленных помех.

Помехи от посторонних радиостанций

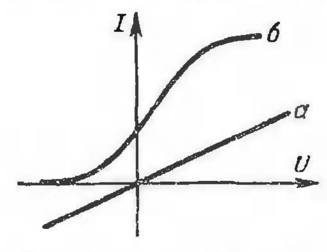
Эта категория помех радиоприему обусловлена работой почти на всех диапазонах большого количества мощных и сверхмощных радиостанций. Помехи от посторонних радиостанций оказываются наиболее ощутимыми в коротковолновом, а также и средневолновом диапазонах, где число станций особенно велико. В коротковолновом диапазоне, как показывают наблюдения, в пределах каждых 20 *кгц* можно обнаружить работу в среднем до 6 станций одновременно. Если учесть, что полоса пропускания, например радиовещательных приемников, выбирается обычно 8—10 *кгц*, то станет очевидным, с какими трудностями может быть сопряжен нормальный прием выбранной программы.

Различают несколько видов помех за счет посторонних радиостанций. Однако прежде чем рассмотреть их природу, следует напомнить некоторые сведения о нелинейных элементах радиоприемника.

К нелинейным элементам, как известно, относятся такие электрические системы или цепи, параметры которых (например, сопротивление, емкость, крутизна характеристики) зависят от напряжений и токов в них. Такие цепи или системы не подчиняются закону Ома, т. е.

прямая пропорциональность между напряжением и током в этом случае отсутствует или, иначе говоря, зависимость тока от напряжения не может быть изображена графически прямой линией. Зависимость между током и напряжением для нелинейных элементов выражается некоторой кривой или линейно-ломаной линией. Пример характеристики нелинейного элемента изображен на фиг. 5.

Особенностью нелинейных цепей является их способность искажать форму колебаний, образовывать гармоники или комбинации частот. Так, например, при подаче на вход нелинейного элемента синусоидального напряжения с частотой ω напряжение на выходе будет иметь составляющие с частотами ω, 2ω, 3ω и т. д.



Фиг. 5. Зависимости тока от напряжения для линейного (*а*) и нелинейного (*б*) элементов.

Если на вход такого элемента воздействуют два синусоидальных напряжения с частотами ω_1 и ω_2, то выходное напряжение будет иметь составляющие не только с частотами $2\omega_1$, $2\omega_2$, $3\omega_1$, $3\omega_2$ и т. д., но и с частотами, равными сумме и разности частот ω_1 и ω_2. Образовавшиеся новые частоты $\omega_1 + \omega_2$ и $\omega_1 - \omega_2$ носят название частот биений.

К нелинейным элементам относятся все радиолампы, кристаллические детекторы, катушки с железом и т. д.

Нелинейные элементы являются неотъемлемыми деталями радиоприемника и без их использования приемник не смог бы выполнять таких основных функций, как детектирование и преобразование высокочастотных сигналов. Однако в ряде случаев нелинейность элементов приемника приводит к нежелательным, вредным результатам и является причиной образования помех радиоприему. Рассмотрим эти помехи.

Помехи, обусловленные биениями между несущими частотами принимаемой и соседней станций. Приведем простой пример. Допустим, на частоте $f_c = 10\,020$ *кгц* ведется прием какой-нибудь станции, а на частоте $f_n = 10\,029$ *кгц* работает соседняя станция (мешающая). Если соседняя станция создает напряженность поля в месте приема во много раз бо́льшую, чем полезная,

то, несмотря на то, что приемник настроен на частоту $f_c = 10\,020$ *кгц*, частота $f_п = 10\,029$ *кгц* вследствие недостаточной избирательности приемника проникнет к детектору, и на его выходе выделится частота биений между f_c и $f_п$, равная $10\,029 - 10\,020 = 9$ *кгц*. Пройдя по низкочастотному тракту, эта частота окажется на выходе приемника, и в громкоговорителе на фоне принимаемой программы возникнет свист высокого тона.

Помехи за счет перекрытия боковых полос принимаемой и соседней станций. Для уяснения характера этого вида помех предположим, что обе станции в предыдущем примере излучают сигналы, модулированные только одним тоном. Пусть частота модуляции полезной станции равна $F_1 = 3$ *кгц*, а мешающей — $F_2 = 8$ *кгц*. Учитывая, что спектр первой станции будет иметь в своем составе 3 частоты: $10\,020$ *кгц*, $10\,020 + 3 = 10\,023$ *кгц* и $10\,020 - 3 = 10\,017$ *кгц*, а спектр второй — соответственно: $10\,029$ *кгц*, $10\,029 + 8 = 10\,037$ *кгц* и $10\,029 - 8 = 10\,021$ *кгц*, нетрудно подсчитать, что если все эти частоты достигнут детектора, то за счет биений между боковыми частотами на выходе приемника появятся звуковые частоты, равные 1, 2, 4, 6 и 12 *кгц* (более высокие частоты ослабятся низкочастотными ступенями приемника).

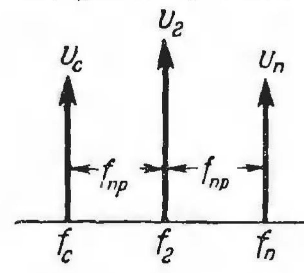
В действительности, и полезная, и мешающая станции, как правило, модулируются одновременно весьма большим числом частот. Вследствие этого на выходе приемника могут присутствовать и оказывать мешающее действие десятки и сотни таких комбинационных частот, сильно искажая, а порой делая совершенно невозможным прием.

Перекрестные помехи. При одновременном воздействии на сетку усилителя высокой частоты полезного сигнала и сильного мешающего сигнала (порядка 1—2 *в*) возникают своеобразные помехи. Эти помехи проявляются в виде накладки мешающего сигнала на принимаемый полезный сигнал. Мешающая станция может отстоять достаточно далеко от частоты настройки приемника, тем не менее ее передача хорошо прослушивается. Особенность такого рода помехи состоит в том, что при прекращении работы станции, на которую настроен приемник, мешающая станция также «пропадает».

Перекрестные помехи появляются в результате нелинейности характеристики входной лампы приемника — усилителя высокой частоты или преобразователя. Особенно они сказываются в приемниках с плохой преселекцией.

Иногда перекрестные помехи называют еще явлением перекрестной модуляции. Такое название оправдывается тем, что в результате нелинейности несущая полезного сигнала складывается с боковыми полосами мешающей станции, и образуется новое модулированное колебание, т. е. модуляция мешающей станции как бы переходит на несущую частоту полезной станции.

Помехи, проявляющиеся только в супергетеродинных приемниках. Принцип преобразования высокой частоты в промежуточную, используемый в супергетеродинных приемниках, наряду с большими преимуществами порождает и ряд недостатков. Одним из таких недостатков является возможность образования в супергетеродине специфических, только ему свойственных помех.



Фиг. 6. Положение частот полезного и мешающего сигналов относительно частоты гетеродина.

Это неприятное обстоятельство объясняется тем, что промежуточная частота $f_{пр}$ может образоваться в цепи смесителя не только при воздействии полезного сигнала. Действительно, если частота гетеродина выбирается выше частоты сигнала, то промежуточная частота, которая образуется за счет сигнала, будет равна $f_{пр}=f_г-f_c$, откуда $f_c=f_г-f_{пр}$. Но напряжение с частотой, равной промежуточной частоте, может возникнуть и в том случае, если на входе преобразователя будет действовать мешающая станция с частотой $f_п=f_г+f_{пр}$, так как для образования промежуточной частоты нужна лишь соответствующая разность двух частот. Таким образом, если во время приема полезного сигнала также работает станция с частотой $f_п$, то это повлечет за собой появление на выходе приемника помехи (фиг. 6), называемой з е р к а л ь н о й, или помехой за счет в т о р о г о канала.

Кроме зеркальной помехи, в супергетеродине возможны помехи за счет гармоник гетеродина. Если на гетеродинную сетку преобразователя будут проникать достаточно интенсивные гармоники гетеродина, то сигналы с частотами, равными $2f_г+f_{пр}$, $2f_г-f_{пр}$, $3f_г+f_{пр}$, $3f_г-f_{пр}$ и т. д., могут быть приняты и также создадут помехи при приеме полезного сигнала с частотой f_c.

Иногда в супергетеродинах возникают помехи еще и за счет того, что две мешающие станции создают разность или сумму частот, равную промежуточной частоте.

Влияние внешних активных помех на радиоприемное устройство

Рассмотрев природу основных типов внешних активных помех, следует теперь оценить то влияние, которое они оказывают на радиоприемник.

При воздействии на приемную антенну нерегулярной э. д. с. помехи, обусловленной, например, грозовым разрядом или созданной каким-нибудь электрическим устройством, в колебательных контурах приемника за счет энергии помехи возникнут собственные колебания. По истечении некоторого промежутка времени эти колебания затухнут. Если последующие импульсы помехи действуют относительно редко, то каждый из них будет вызывать свою серию затухающих колебаний.

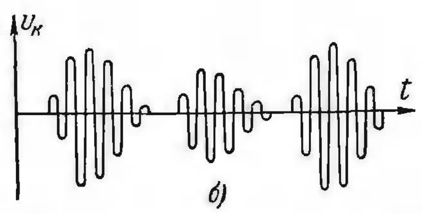
Помехи, редко воздействующие на контуры радиоприемника, носят название импульсных. Импульсный характер имеют, как правило, промышленные помехи и весьма часто — атмосферные.

Если же отдельные импульсы помех следуют друг за другом через короткие промежутки времени, то серии собственных колебаний в контурах от каждого из них не будут успевать затухать и они будут перекрывать друг друга. В результате этого переменное напряжение на контуре будет являться суммой нескольких переменных напряжений с различными амплитудами и самыми разнообразными фазами. Помехи, оказывающие такое непрерывное воздействие на контуры приемника, носят название гладких помех. Атмосферные помехи, прослушиваемые в громкоговорителе в виде шорохов или шипения, относятся к гладким помехам. Примерные формы им-

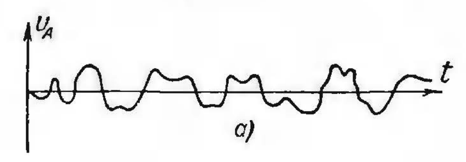
пульсных и гладких помех соответственно приведены на фиг. 7,*а* и 8,*а*. На фиг. 7,*б* и 8,*б* приведены графики напряжений на контурах, которые вызываются импульсными и гладкими помехами.

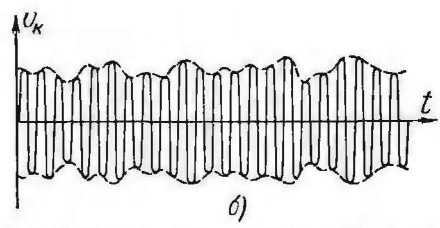
Напряжение на контуре приемника, вызванное помехами, может изменять свою величину в весьма больших пределах. Особенно это относится к импульсным помехам.

Но величина напряжения, развиваемая помехами на контурах приемника, зависит не только от их характера, но и от ширины полосы пропускания приемника. В самом деле, как уже отмечалось, спектр атмосферных и промышленных помех имеет в своем составе составляющие всех частот, в том числе, конечно, и с частотами, соответствующими полосе пропускания приемника. Чем шире полоса пропускания приемника, тем больше составляющих спектра помех смогут в него проникнуть и тем больше будет величина эффективного напряжения, развиваемая помехами в контурах и, следовательно, на выходе приемника.



Фиг. 7. Графики импульсной помехи (*а*) и напряжения, создаваемого ею на контуре (*б*).





Фиг. 8. Графики гладкой помехи (*а*) и напряжения, создаваемого ею на контуре (*б*).

Если положить, что изображение на фиг. 7,*б* и 8,*б* напряжения за счет помех относятся к последнему контуру усилителя промежуточной частоты, то можно считать, что на входе детектора действуют как бы высокочастотные колебания, с изменяющейся амплитудой. После детектирования огибающая этих колебаний выделится в виде мешающего звукового напряжения и, усилившись в низкочастотном тракте, воспроизведется телефоном или громкоговорителем.

На характер слухового впечатления, производимого различного рода помехами, уже указывалось при рассмотрении их природы. Добавим только, что ощущение громкости и характера импульсных помех тесно связаны с особенностями человеческого уха. Установлено, например, что ощущение звука человеком наступает не сразу, а через некоторый промежуток времени. Ухо может различать только такие импульсы, которые следуют друг за другом с определенной скоростью или реже ее. Звуковое впечатление после быстрого прекращения импульса пропадает не сразу, а через 160—200 *мсек*.

Ощущение громкости тем сильнее, чем чаще импульсы следуют друг за другом, так как ухо способно как бы «накоплять» звуки малой длительности и «сливать» их в один сильный, продолжительный звук.

При автоматической радиотелеграфии мешающее влияние помех проявляется в увеличении или укорочении продолжительности знака, в заполнении паузы между знаками, в разрыве и пропадании отдельных знаков, искажении знаков и целых групп знаков и т. д. Все это, в конечном счете, приводит к неправильному воспроизведению текста.

Выводы

Рассмотрение природы внешних активных помех приводит нас к выводу, что паразитные э. д. с., вызываемые ими, действуют на приемное устройство почти постоянно. В большом городе они в основном определяются промышленными помехами, в сельских местностях — атмосферными; уровень этих паразитных колебаний, как мы видели, может изменяться в весьма широких пределах, но с наличием определенного уровня радиопомех приходится всегда считаться, как с непреложным фактом.

Для осуществления нормального радиоприема необходимо, чтобы уровень сигнала в какой-то мере превышал уровень помех; в противном случае удовлетворительно выделить на фоне помех сигнал не удастся.

Необходимое отношение уровня сигнала к уровню помех, обеспечивающее нормальный прием сигнала, зависит от рода передачи. Так, например, для хорошего слухового приема телеграфной работы уровень э. д. с. сигнала должен быть хотя бы в два раза больше уровня э. д. с. помехи.

При автоматическом радиотелеграфном приеме это отношение должно быть порядка 2—5. Нормальный прием при радиотелефонной связи может быть обеспечен при отношении $\frac{U_c}{U_n}$ не менее 10, а высококачественный прием радиовещания требует отношения среднего уровня сигнала к уровню помех, равного 100. Действительно, для художественного воспроизведения музыки или пения необходимо, чтобы уровень помех перекрывался самыми слабыми звуками (пиано) в передаче и чтобы слушатель совершенно не ощущал постороннего шума или «накладки» от помех.

Наличие при радиоприеме почти постоянно действующего фактора—определенного уровня паразитных э. д. с., обусловленных помехами, устанавливает границы для приема слабых сигналов. Сигналы, которые ниже уровня помех, воспроизвести нельзя, независимо от того, какое усиление может обеспечить приемник. Следовательно, повышение числа ступеней усиления приемника в этом случае является бесполезным делом, и реальную чувствительность приемников следует повышать иными средствами.

Количественная оценка уровня помех производится измерением величины напряженности поля помех. Напряженность поля помех U_n может быть определена, если известна величина общего коэффициента усиления радиоприемника K и действующая высота антенны $h_д$. Измеряя напряжение помехи на выходе приемника $U_{вых}$, легко рассчитать, что $U_n = \frac{U_{вых}}{Kh_д}$. Так же как и напряженность поля сигнала, U_n выражают в микровольтах на метр.

Ввиду того что воздействие помех на приемник зависит от его полосы пропускания, кроме величины напряженности поля помех обычно указывают и ширину полосы пропускания приемника, при которой производилось измерение.

Представление о величине напряженности поля, создаваемой грозовыми помехами, можно получить из табл. 1.

Таблица 1

Напряженность поля грозовых помех летом

Длина волны, *м*	Напряженность поля грозовых помех (*мкв/м*) для ширины полосы	
	200 *гц*	6 000 *гц*
2 000	14	80
800	6	32
200	1,5	8

Рассмотрение этой таблицы полностью подтверждает выводы о характере атмосферных помех — сильное их возрастание с увеличением ширины полосы пропускания и падение уровня с уменьшением длины волны.

Примерное представление о значении уровня промышленных помех дает табл. 2.

Таблица 2

Средняя напряженность поля промышленных помех

Диапазон волн	Род местности	Средняя напряженность поля промышленных помех (*мкв/м*) для ширины полосы	
		200 *гц*	6 000 *гц*
Средние волны	Большой город	35	200
	Средний город	15	80
	Сельская местность . .	3,5	20
Короткие волны	Город	0,7	4
	Сельская местность . .	0,4	2

Из этой таблицы видно, что сила промышленных помех, подобно атмосферным, понижается при укорочении волны и при уменьшении полосы пропускания приемника.

Ознакомившись с природой внешних активных помех и их действием на радиоприемник, перейдем к рассмотрению основных существующих способов борьбы с ними.

ЗАЩИТА РАДИОПРИЕМА ОТ ВНЕШНИХ АКТИВНЫХ ПОМЕХ

Увеличение отношения сигнал/помеха в месте приема

Значительное количество способов защиты радиоприема от внешних активных помех основано на увеличении отношения уровня сигнала к уровню помех в месте приема. Рассмотрим некоторые, наиболее известные из этих способов.

Повышение мощности радиостанции. Повысить уровень сигнала в месте приема можно за счет увеличения мощности радиостанции. Выясним, сколь эффективен такой способ защиты радиоприема от мешающего действия внешних активных помех.

Из табл. 1 следует, что средний уровень грозовых помех летом на волне 800 *м* и при полосе пропускания приемника в 6 *кгц* оценивается величиной порядка 30 *мкв/м*. Для обеспечения высококачественного приема радиовещания, как нам уже известно, необходимо иметь отношение сигнал/помеха, равное 100.

Предположим, что нас устроила бы величина этого отношения, равная 80. Следовательно, в месте приема уровень сигнала должен достигать примерно 2,5 *мв/м*. Если воспользоваться теорией распространения радиоволн и подсчитать, каков же радиус зоны, в которой радиостанция средней мощности в 100 *квт* может создать такой уровень сигнала, то окажется, что он меньше 300 *км*. Подробный же расчет покажет, что для увеличения этого радиуса до 500 *км* необходимо повысить мощность радиостанции до 1 000 *квт*, т. е. построить сверхмощную радиостанцию, представляющую собой весьма серьезное и дорогостоящее сооружение, требующее для своей работы десятков тысяч киловатт электроэнергии.

Обратимся теперь к промышленным помехам. Табл. 2 показывает, что уровень промышленных помех в боль-

шом городе на средних волнах при полосе пропускания приемника в 6 *кгц* равен 200 *мкв/м*, т. е. примерно в 7 раз больше, чем для случая грозовых помех. Если требования к качеству приема остаются прежними, то напряженность поля сигнала должна теперь иметь величину не менее чем 16 *мв/м*. Так как напряженность поля, создаваемая радиостанцией, возрастает прямо пропорционально корню квадратному из величины излучаемой ею мощности, то, как легко подсчитать, в этом случае для обеспечения в зоне радиусом 300 *км* напряженности поля не менее 16 *мв/м* требуется колоссальная мощность, равная $100 \cdot (16/2{,}5)^2 \approx 4\,100$ *квт*.

Совершенно очевидно, что сооружение радиостанций таких мощностей как мера борьбы с внешними активными помехами, в частности с грозовыми и промышленными, не является приемлемой.

На коротких волнах, где помимо повышения мощности самого передатчика, увеличение напряженности поля сигнала в месте приема (до 10—12 раз) достигается использованием остронаправленных передающих антенн, соотношения между силой сигнала и уровнем помех получаются значительно лучшими.

Снижение уровня промышленных помех. Повышения отношения сигнал/помеха можно достигнуть также за счет снижения самого уровня помех в месте приема.

Это относится, в основном, к промышленным помехам.

Первый путь заключается в удалении радиоприемного устройства от источников помех. Выносом приемных устройств за два-три десятка километров от города, расположением их на значительном расстоянии от промышленных предприятий, линий электропередач и других возможных источников помех достигается эффективная защита радиоприема от помех. Однако эта мера борьбы с промышленными помехами, как правило, доступна только для приемников профессиональной радиосвязи или предназначенных для проволочного вещания.

Чрезвычайно действенными способами понижения уровня промышленных помех, особенно в городах, являются способы борьбы с помехами у источников их возникновения.

Хорошие результаты в смысле резкого снижения уровня промышленных помех в пространстве дает **экранирование источника помех**. Искрящие

устройства окружаются сплошными металлическими кожухами, соединенными с корпусом установки, а на подводимые провода надеваются специальные экранирующие «чулки» (металлическая плетенка или трубка).

Очень большое значение имеет тщательность экранировки. Несовершенство экранировки (щели и отверстия в экране) приводит к резкому увеличению уровня помех (в десятки и даже в сотни раз).

Применением экранирования можно достичь весьма эффективной защиты от промышленных помех, непосредственно излучаемых их источником. Но помехи распространяются не только непосредственно, но еще и по проводам, подключаемым к источнику помех. Для того чтобы воспрепятствовать проникновению помех в провода, применяют на входе и выходе источника помех блокировочные конденсаторы или сглаживающие фильтры.

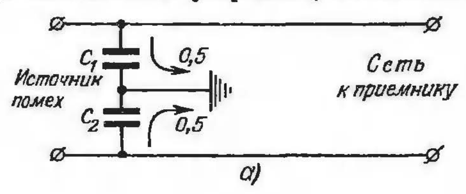
Использование конденсаторов для преграждения доступа э. д. с. помех в сеть, питающую приемник, основано на известном свойстве конденсатора пропускать лишь переменный ток, и при том тем лучше, чем выше частота этого тока и больше емкость самого конденсатора. Так как э. д. с. промышленных помех имеют, как правило, высокочастотный характер, то включением соответствующих конденсаторов можно шунтировать эти паразитные токи, отделить их от постоянного или переменного 50-периодного тока, применяемых для питания приемника.

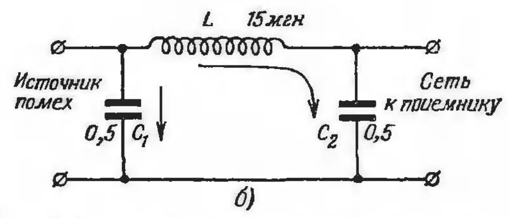
На фиг. 9,*а* показано, как высокочастотные паразитные колебания, ввиду малого для них сопротивления конденсаторов C_1 и C_2 по сравнению с сопротивлением проводов, идущих к приемнику, проходят, главным образом, через эти конденсаторы в землю. В сеть, питающую приемник, ответвляется только очень малая часть тока помех.

Иногда сопротивление сети приемника может быть мало, и для отвода высокочастотных паразитных э. д. с. в землю блокировка источника помех только конденсаторами оказывается недостаточной. В таких случаях применяется блокировка сглаживающим фильтром (фиг. 9,*б*), дроссель которого, представляя очень большое сопротивление высокочастотным паразитным токам, беспрепятственно пропускает ток, питающий приемник. Электрические данные дросселей и конденсаторов, применяемых для защиты от помех, обычно находятся в следующих

пределах: конденсаторы — от 0,1 до 2 *мкф*, дроссели — от 0,02 до 15 *мгн*.

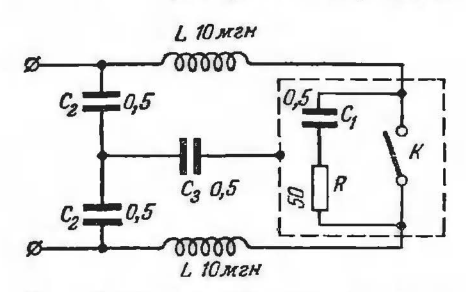
Подавление помех, образующихся при действии различного рода контактных устройств, достигается при помо-





Фиг. 9. Блокировка источника помех с помощью конденсатора (*а*) и фильтра (*б*).

щи так называемых искрогасителей. Искрогасительная цепь состоит из емкости с последовательно включенным сопротивлением (фиг. 10). Цепь включается параллельно контактам ключа. В момент искрообразования, когда ключ *K* размыкается, толчок напряжения прежде всего заряжает емкость. Напряжение на контактах возрастает постепенно с постоянной времени, определяемой *R* и C_1. В результате такого медленного заряда емкости C_1 высокочастотные паразитные э. д. с., возникающие при размыканиях контактов, устраняются. Если контакты замкнуты, то напряжение в месте замыкания падает, и конденсатор C_1 разряжается через контакты и сопротивление *R*.



Фиг. 10. Подавление помех, создаваемых контактным устройством, при помощи искрогасителя и фильтра.

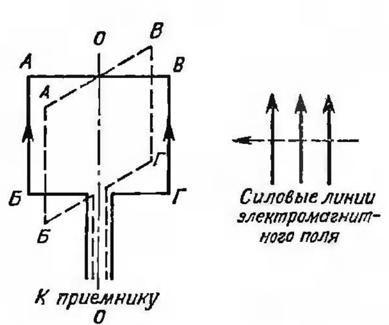
Элементы R и C_1 обычно подбираются опытным путем. Величины R лежат в пределах от 5 до 100 *ом*, а C_1 — от 0,1 до 1 *мкф*.

Подобное мероприятие значительно снижает помехи, создаваемые контактными устройствами. Те же из контактных устройств, которые создают особенно сильные помехи, дополнительно защищаются фильтрами. На фиг. 10 показана защита контактного устройства искрогасителем и фильтром.

Защита входных цепей приемного устройства

Кроме вышеуказанных методов борьбы с помехами, применение которых позволяет уменьшить отношение помеха/сигнал в месте приема, существует еще группа методов, основанных на защите входных цепей приемного устройства от воздействия на них помех.

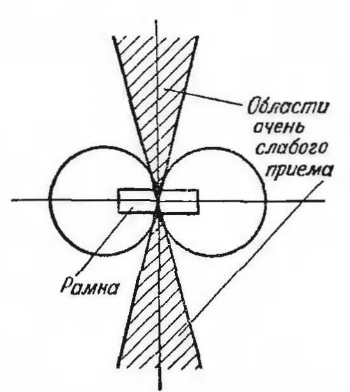
Рамочные антенны. Пусть на подключенный ко входу приемника прямоугольный виток провода *АБВГ* (фиг. 11) воздействует электромагнитная волна, электрическое поле которой будем считать вертикальным. Стороны витка *АБ* и *ВГ* совмещены с силовыми линиями электрического поля. Поэтому в *АБ* и *ВГ* будет наводиться э. д. с. Если направление (луч) приходящей волны перпендикулярно к плоскости витка, то наводимые э. д. с. в *АБ* и *ВГ* будут равны по величине и совпадать по фазе. Так как эти э. д. с. действуют навстречу друг другу, то результирующая э. д. с. оказывается равной нулю, и прием отсутствует. Если, наоборот, плоскость витка совмещена с плоскостью распространения радиоволны, то временем перемещения фронта волны от стороны *ВГ* к стороне *АБ* будет обусловлен некоторый сдвиг по фазе между э. д. с., наводимыми в вертикальных сторонах витка, что обеспечит существование разности э. д. с. и следовательно, наличие приема.



Фиг. 11. Положение витка в электромагнитном поле, способствующее наличию э. д. с. на ее концах.

Таким образом, если составить из нескольких витков проволоки устройство, называемое рамочной антенной или просто рамкой, то в отличие от обычной антенны можно исключить прием электромагнитных волн с определенных направлений. Для этого необходимо только повернуть рамку таким образом, чтобы ее плоскость была перпендикулярна к направлению на источник излучения. Прием же электромагнитных колебаний со всех других направлений будет возможен.

Рассмотренное нами свойство рамочной антенны называется пространственной избирательностью или направленностью. Пространственная избирательность—это способность антенны выделять электромагнитные колебания одного из нескольких источников, расположенных по разным направлениям от места приема. С помощью рамочной антенны может быть успешно осуществлена пространственная избирательность простейшего вида, основанная на исключении нежелательного источника излучения и приема почти всех остальных станций.



Фиг. 12. Диаграмма направленности рамки.

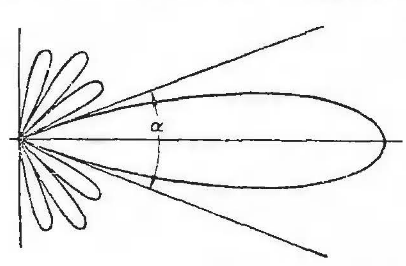
На фиг. 12 показана так называемая диаграмма направленности рамочной антенны, характеризующая пространственно-избирательные свойства антенны. Заштрихованная часть обозначает область очень слабого приема. Она ограничена небольшим телесным углом.

Осуществление более эффективной пространственной избирательности возможно с помощью специальных антенн, имеющих резко выраженные диаграммы направленности (подобно, например, указанной на фиг. 13).

Пространственная избирательность во многих случаях может быть использована как весьма действенное средство защиты приемника от проникновения в него внешних активных помех. Действительно, предположим, что на одной и той же волне работают две радиостанции: полезная и мешающая. Если направления из ме-

ста приема на эти радиостанции достаточно различаются между собой, то, ориентируя остронаправленную антенну на интересующую нас радиостанцию, можно исключить воздействие на приемник э. д. с. мешающей радиостанции. Таким образом, пространственная избирательность может быть успешно применена в борьбе с помехами от мешающих станций (если направления полезной и мешающих станций не совпадают).

Пространственная избирательность может быть также использована как мера зашиты радиоприема от грозовых и прочих нерегулярных помех. Действительно, если направления прихода грозовых помех не совпадают с направлением на принимаемую станцию, то при остронаправленной антенне воздействие помех на приемник будет резко ослаблено.



Фиг. 13. Диаграмма направленности ромбической антенны.

Практическое использование пространственной избирательности, особенно в радиолюбительской практике, сопряжено с серьезными трудностями. Дело в том, что размеры остронаправленных антенн весьма сильно зависят от длины принимаемой волны. Если на сантиметровых и дециметровых волнах, при достаточно малых размерах можно создать антенну с весьма хорошими пространственно-избирательными качествами (угол раствора диаграммы направленности α порядка 2—3°), то уже в диапазоне коротких волн, даже при сооружении сложнейшей антенной системы, получение такого же одиночного остронаправленного луча практически не представляется возможным. В этом случае приходится снижать требования к качеству антенн и строить антенны, с одной стороны, со значительно бо́льшими углами раствора диаграммы направленности и, с другой, допускать в диаграммах лепестки (побочные лучи), что, конечно, весьма нежелательно.

Наиболее простой, но довольно эффективной направленной антенной является вертикальная полуромбическая антенна, которая при известных обстоятельствах может применяться и для радиолюбительского приема на корот-

ких волнах (особенно в сельских местностях и удаленных районах Союза). Для выполнения такой антенны нужно провод длиной порядка 150 *м* подвесить в средней его точке на специальной мачте или дереве высотой 10 — 20 *м*, направив его при этом в сторону принимаемой станции. С одной стороны провод подключается к приемнику, а с другой — через сопротивление 400—500 *ом* (безиндукционное) — заземляется.

Что касается средних и длинных волн, то применение направленного приема в этих диапазонах сопряжено с сооружением антенн столь больших размеров, что о практическом осуществлении их в любительских условиях трудно что-нибудь сказать.

Довольно широкое распространение имеют рамочные антенны в радиовещательных приемниках, особенно портативных. Рамочная антенна используется как средство ослабления действия помех, особенно промышленных. Если вблизи от места установки приемника, снабженного рамочной антенной, имеется мощный источник промышленных помех, например, рентгеновская установка или двигатель с искрящими щетками, то, повернув рамку так, чтобы ее плоскость оказалась перпендикулярной к направлению на этот источник, можно уменьшить действие помех от него.

Значительная эффективность рамочной антенны как меры защиты приемника от промышленных помех определяется тем, что электромагнитные поля, создаваемые промышленными помехами, имеют сильно выраженную электрическую составляющую, которая может быть хорошо компенсирована рамкой.

Помехозащитные качества рамочной антенны значительно повышаются при ее экранировании. Экранировка, во-первых, уничтожает так называемый антенный эффект рамки, который связан с асимметрией сторон рамки относительно земли (неодинаковая величина э. д. с. и, как следствие, отсутствие «нуля» рамки) и, во-вторых, в случае применения рамки как наружной антенны экранировка дает защиту от упоминавшихся нами выше различного рода статических помех атмосферного происхождения. Экран, конечно, должен быть выполнен так, чтобы рамка не была совершенно заэкранирована, а допускала наведение в ней э. д. с. полезного сигнала. Обычно в качестве экрана используется дополнительная обмотка рамки, ко-

торая накладывается перпендикулярно основным виткам сверху. Средняя точка обмотки-экрана заземляется.

Антишумовые антенны. Весьма эффективным способом защиты радиоприемника от проникновения в него промышленных помех является использование антишумовых антенн.

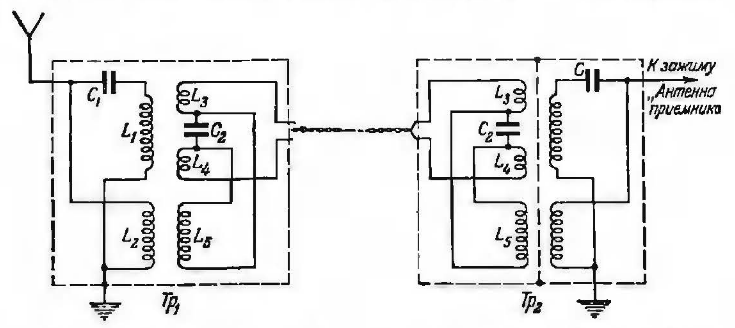
Существует довольно большое количество различных видов антишумовых антенн. Принцип работы значительной части их основан на известной особенности промышленных помех, заключающейся в том, что поле, которое они создают, с повышением уровня над землей резко затухает и уже на высоте 20—25 *м* практически отсутствует. Таким образом, расположив антенну на указанной высоте, можно в определенной мере исключить возможность проникновения промышленных помех на вход приемника. Однако выполнить такую антенну не так просто. Дело в том, что необходимо устранить воздействие поля промышленных помех не только на активную часть антенны, но и на снижение, ибо в противном случае помехи на вход приемника все же будут попадать. Эта задача решается двумя способами.

Первый из них заключается в том, что снижение выполняется из высокочастотного коаксиального кабеля с заземленной экранирующей оболочкой. Опыт, однако, показывает, что такой способ не дает серьезных результатов, особенно при длине кабеля свыше 15—20 *м*, ввиду трудности получения хорошего заземления оболочки.

При втором, более эффективном, способе защита от наводки помех достигается выполнением снижения в виде двухпроводного фидера, свитого из гупера или провода в хлорвиниловой изоляции.

При воздействии на такой двухпроводный фидер электромагнитного поля промышленных помех на каждом из проводов наводятся примерно равные по величине э. д. с. Если длина этих проводов одинакова, то при подключении фидера к симметричной катушке входного контура приемника в последней возникнут токи взаимно противоположных направлений. Эти токи, обусловленные помехами, взаимно уничтожаются, и во входном контуре будут действовать только те токи, которые возникают под действием э. д. с., наведенных полями сигналов в активной части антенны. Использование антишумовых антенн с двухпроводным снижением в некоторой степени ограни-

чивается необходимостью согласовывать фидер с активной частью антенны, с одной стороны, и входом приемника — с другой. В качестве согласующих элементов обычно применяются высокочастотные трансформаторы. Один из трансформаторов устанавливается непосредственно около активной части антенны, а другой — монтируется в



Фиг. 14. Принципиальная схема антенны с двухпроводным фидером.

самом приемнике или оформляется в виде отдельной приставки к приемнику.

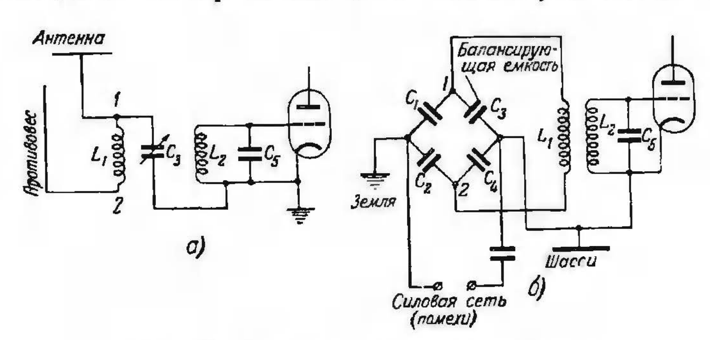
Принципиальная схема антенны с двухпроводным фидером показана на фиг. 14.

К антишумовым антеннам относятся также антенные системы, обеспечивающие защиту приемника от проникновения промышленных помех на основе использования метода компенсации. Для осуществления компенсации помех ко входу приемника, кроме основной антенны, на которую наводится как э. д. с. сигнала, так и э. д. с. промышленных помех, подсоединяется через специальную схему еще одна антенна. Эта дополнительная антенна располагается таким образом, чтобы величина наводимых в ней э. д. с. промышленных помех была заведомо больше величины наводимой э. д. с. сигнала. Применяемая в этом случае специальная схема является балансной и должна обеспечить, во первых, изменение фазы э. д. с. помехи, поступающей из второй антенны, на 180° по отношению к фазе э. д. с. помехи, обусловленной первой антенной, и, во-вторых, уменьшение специально подводимой э. д. с. помехи до величины э. д. с. помехи, попадающей через основную антенну. При выполнении этих условий э. д. с. помехи компенсируются, и сетка первой лампы

приемника окажется только под воздействием э. д. с. сигнала.

Для антишумовых компенсационных систем в качестве второй антенны может быть использована питающая сеть приемника, в которой по сравнению с основной антенной величина э. д. с. промышленных помех резко преобладает над величиной э. д. с., наводимой сигналом.

Обычно из-за наличия самоиндукции проводов, соединяющих шасси приемника с заземлением, шасси оказы-



Фиг. 15. Антишумовая антенная система.
а — схема антенны; *б* — схема эквивалентного моста.

вается под напряжением паразитных высокочастотных колебаний, поступающих из сети. Это напряжение и используется для компенсации помех, попадающих на вход приемника посредством основной антенны. Схема такой антишумовой компенсационной системы изображена на фиг. 15, *а*. Собственно антенна представляет собой двухметровую Т-образную антенну: противовес—провод, подвешиваемый параллельно снижению снизу до половины его высоты. Антенна и противовес присоединяются к первичной обмотке входного трансформатора. Кроме того, антенна соединяется еще с шасси приемника через подстроечный конденсатор, осуществляющий балансировку.

Фиг. 15, *б* поясняет принцип действия антишумовой компенсационной антенны. На этой фигуре показаны все емкости, входящие в схему антенны. Здесь C_1 емкость антенны по отношению к земле, C_2 — емкость противовеса по отношению к земле, C_3 — балансирующая емкость по отношению к шасси приемника, C_4—емкость противовеса по отношению к шасси приемника. Эти четыре емкости образуют мостиковую схему. В одну из диагоналей моста

подано напряжение высокочастотных паразитных колебаний, действующее между шасси и землей, а в другую—первичная обмотка входного трансформатора. Если на антенну помехи не воздействуют, то для баланса мостика необходимо, чтобы емкость C_3 была во столько раз больше емкости C_4, во сколько раз емкость C_3 больше емкости C_2. При соблюдении этого условия концы входной катушки окажутся под одинаковым напряжением, создаваемым помехами, проникшими через питающую приемник сеть, и, следовательно, во входном контуре э. д. с. помехи наводиться не будут. Если же э. д. с. помех на антенну воздействуют, что может иметь место за счет емкости между антенной и питающей сетью, то последнюю легко скомпенсировать соответствующим изменением емкости балансирующего конденсатора; таким образом, и в этом случае помехи в приемник не проникнут.

Рассмотренная нами в качестве примера антишумовая компенсационная антенна дает хорошие результаты на длинных и средних волнах. На коротких волнах она менее эффективна.

В практике известны и другие типы подобного рода антенн, в том числе и всеволновые.

Меры защиты от проникновения помех из питающей сети и через заземление. При питании приемника от сети переменного тока помехи в весьма значительной мере могут проникать в приемник через сеть. В целях защиты приемника со стороны электросети, питающее напряжение на выпрямитель приемника включается через дроссельно-емкостный фильтр, подобный указанному на фиг. 9. Так же как и в случае защиты в самом источнике помех, параметры фильтра выбираются такими, чтобы последний пропускал беспрепятственно питающий ток, а паразитные высокочастотные токи отфильтровывал.

Существенное значение при защите приемника от помех со стороны электросети имеет устранение емкости между первичной и вторичной обмотками силового трансформатора. Для устранения этой емкости между обмотками помещают электростатический экран. Достаточно хорошие результаты достигаются при выполнении такого экрана в виде дополнительной обмотки, один конец которой соединяется с заземленным шасси приемника.

Кроме антенны и проводов электросети, промышленные помехи могут проникнуть в приемник еще и через

заземление. Например, при Г-образной антенне заземление является органической частью антенной системы. В этом случае, кроме горизонтальной части антенны и снижения, в антенную систему входят проводка заземления, металлические трубы (например, водопроводные), почва от места заземления до участка, расположенного под антенной, наконец, сам элемент заземления (труба, металлический лист). На проводник, соединяющий приемник с землей, а также на почву от места заземления до участка, лежащего непосредственно под антенной, воздействуют электромагнитные поля как сигналов, так и помех. Сигналы принимаются этой частью системы весьма плохо, так как действующая высота ее мала, а промышленные помехи этой частью антенной системы будут приниматься и могут весьма сильно сказываться. Кроме того, в земле имеются так называемые блуждающие токи, которые также создают значительные помехи.

Помехи за счет заземления можно ослабить путем создания короткого пути к заземлению, снижения сопротивления этой цепи, тщательности выполнения самого заземления.

Ослабление чувствительности приемника к помехам

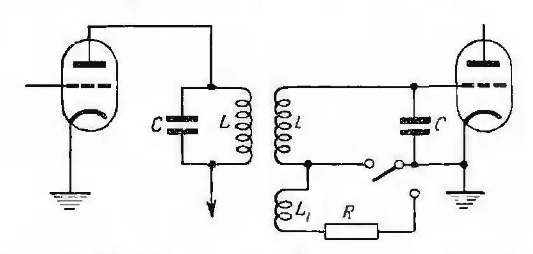
В третью группу методов защиты радиоприема от воздействия внешних активных помех можно объединить те меры, которые принимаются для этой цели внутри приемного устройства.

Сужение полосы пропускания. Из рассмотрения природы внешних активных помех следует, что ослабление воздействия помех на приемное устройство может быть достигнуто за счет всемерного сокращения полосы пропускания приемника.

Обычно полоса пропускания выбирается такая, чтобы обеспечить нормальное прохождение спектра сигнала и, следовательно, нормальное воспроизведение программы. Кроме того, по ширине полосы пропускания предусматривается запас, для того чтобы нестабильность передающего устройства и нестабильность настройки за счет гетеродина не вызывали необходимости непрерывной подстройки приемника.

При приеме слабых сигналов в условиях воздействия помех целесообразно в известной мере сужать полосу

пропускания приемника, даже за счет уменьшения спектра воспроизводимого сигнала. Для этой же цели применяются ручная и автоматическая регулировки полосы пропускания. Существует очень много схем такой регулировки. Большинство этих схем предусматривает регулировку полосы в усилителе промежуточной частоты приемника. Чаще всего ручная регулировка полосы осуществляется плавным изменением связи между контурами полосового фильтра — сближением или удалением кон-



Фиг. 16. Схема ступенчатой регулировки полосы пропускания приемника.

турных катушек в схеме с трансформаторной связью или изменением емкости при внешне-емкостной связи контуров.

Регулировку полосы можно осуществлять еще и изменением затухания контуров полосового фильтра. Имеются также схемы, где связь между контурами и затухание изменяются одновременно, однако из-за сложности настройки они распространения не получили.

Широкое применение получили схемы, где вместо плавного регулирования полосы применяется переключение с узкой полосы на более широкую. Достигается это включением во второй контур фильтра добавочной катушки с малой индуктивностью. Это приводит, с одной стороны, к увеличению связи между контурами, а с другой — к некоторой расстройке контура. В результате общая полоса пропускания расширяется. При ступенчатой регулировке полосы добиться оптимальной формы резонансной кривой значительно проще. Так как для сохранения оптимальной формы кривой при увеличении связи должно увеличиваться и затухание, то последовательно с добавочной катушкой включается соответствующим образом подобранное активное сопротивление (фиг. 16).

Автоматическое регулирование полосы пропускания действует в зависимости от условий приема в данный момент станции, на которую настроен приемник. Известны два типа схем автоматической регулировки полосы. В схеме первого типа полоса пропускания устанавливается в зависимости от амплитуды несущей частоты принимаемой радиостанции, причем полоса становится тем шире, чем больше амплитуда сигнала. В схемах второго типа полоса пропускания регулируется в зависимости от интенсивности соседних мешающих станций; большой интенсивности мешающих станций соответствует узкая полоса, малой — широкая. Схемы автоматических регуляторов полосы пропускания широкого распространения не получили из-за их сложности. Ручная регулировка, обычно ступенчатая, применяется в приемниках 1-го класса.

При телеграфном приеме полоса пропускания для нормального прохождения сигнала может быть очень узкой, так как частота манипуляции редко превышает 300—400 *гц*. Это обстоятельство весьма благоприятно для уменьшения влияния всякого рода помех. Однако при помощи полосовых фильтров с обычными контурами, из-за их невысокой добротности, получить узкую полосу пропускания трудно. Из этого положения в современных приемниках выходят путем применения кварцевых фильтров.

Возможность использования кварца для этой цели основана на его резко выраженных резонансных свойствах. Как известно, если между двумя электродами поместить пластинку, вырезанную из кварца, а на электроды воздействовать переменным напряжением, то кварц начнет механически колебаться. Наибольшей амплитуды колебания достигнут при определенной частоте э. д. с., приложенной к электродам. При этой частоте (резонансной), зависящей от геометрических размеров пластины, будет происходить резкое увеличение тока через кварц, подобно тому, как это имеет место при последовательном резонансе в электрической цепи.

Свойства кварцевой пластины позволяют представить ее эквивалентной электрической схемой, показанной на фиг. 17. Здесь L, C и R — параметры, характеризующие кварцевую пластину, как колебательную систему, C_n — емкость между электродами, держащими пластину,

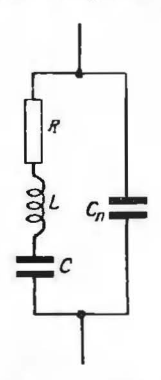
Индуктивность кварцевой пластины L имеет очень большую величину, а емкость C и активное сопротивление R весьма малы. Например, для кварцевой пластины, резонансная частота которой равна $f_p = 1{,}5$ *мггц*, $L = 0{,}4$ *гн*, $C = 0{,}028$ *мкмкф* и $R = 35$ *ом*.

Нетрудно заметить, что кварц обладает очень большой добротностью Q и, следовательно, представляет резонансную систему с весьма узкой полосой пропускания. Подсчитаем Q и полосу пропускания ΔF для кварцевой пластинки, имеющей резонансную частоту $f_p = 1{,}5$ *мггц*:

$$Q = \frac{\omega L}{R} = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}5 \cdot 10^6 \cdot 0{,}4}{35} \approx 10^5;$$

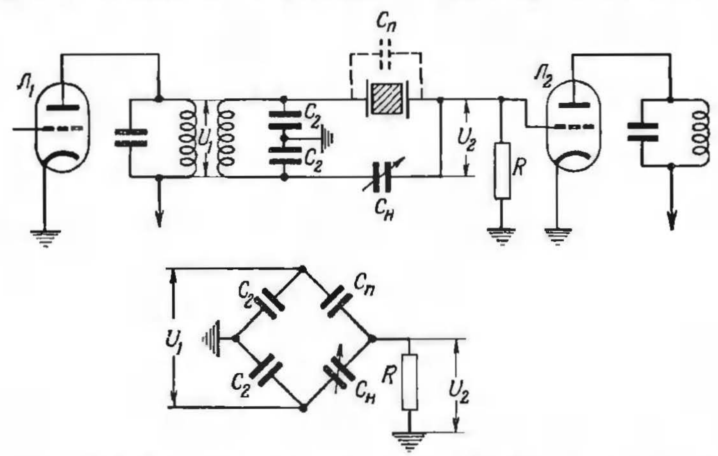
полоса пропускания по ординате 0,7

$$\Delta F = \frac{f_p}{Q} = \frac{1{,}5 \cdot 10^6}{10^5} = 15 \text{ гц}.$$



Фиг. 17. Эквивалентная схема кварца.

Обычно кварц включается как связующее звено между двумя ступенями усилителя промежуточной частоты



Фиг. 18. Схема усилителя с кварцевым фильтром. Паразитная емкость кварцедержателя нейтрализована в мостиковой схеме.

(фиг. 18). Благодаря такому включению кварца, в последующую ступень усилителя будут проходить только частоты, соответствующие полосе пропускания кварца. Это,

однако, справедливо только в том случае, если емкость $C_п$ между электродами, держащими кварцевую пластину, нейтрализована. Если это не сделано, то через эту емкость в последующую ступень усилителя будут проходить токи, частоты которых лежат и вне полосы пропускания кварца, что, конечно, сильно ухудшит фильтрующие качества схемы. В рассматриваемой нами схеме кварц включен в мостик, состоящий из емкостей C_1, C_2, $C_п$ и $C_к$. При соответствующей величине нейтрализующей емкости $C_к$, которая выполняется обычно в виде полупеременного конденсатора, паразитную емкость $C_п$ можно полностью нейтрализовать.

Приведенная нами в качестве примера схема кварцевого фильтра относится к самым простейшим.

Недостатком простых схем кварцевых фильтров является то, что они имеют слишком острую резонансную кривую с полосой пропускания, порой недостаточной для нормального прохождения сигнала. В магистральной радиосвязи довольно широкое распространение получили кварцевые фильтры, не только свободные от этого недостатка, но и имеющие, кроме того, очень крутые спады резонансной кривой. Кривая таких фильтров близко приближается к идеальной прямоугольной форме. Такие совершенные кварцевые фильтры обычно содержат несколько кварцевых пластин, и их настройка сопряжена с определенными трудностями.

Полоса пропускания кварцевых фильтров может в довольно широких пределах регулироваться с помощью параллельной емкости (уменьшение полосы) и последовательной индуктивности (увеличение полосы).

Выше мы уже указывали, что при выборе полосы пропускания приемника, кроме ширины той полосы, которая требуется для нормального прохождения спектра сигнала, обычно предусматривается еще запас из-за нестабильности частоты передающего устройства и настройки приемника. Ясно, что всемерное сокращение этого запаса благоприятствует помехозащищенности приемного устройства. Поэтому такая мера, как повышение стабильности частоты передающих и приемных устройств, есть хотя и косвенное, но важное средство борьбы с помехами.

Наиболее эффективным способом повышения стабильности частоты передающей радиостанции является применение в задающем каскаде кварцевого кристалла, из-

вестного своими стабилизирующими свойствами. Для устранения влияния внешней среды, главным образом температурных изменений, к которым резонансная частота кварца особенно чувствительна, последний помещают в специальную камеру — термостат, где температура автоматически поддерживается на строго определенном уровне.

Устойчивость приемного устройства, т. е. отсутствие расстройки приемника относительно первоначальной настройки в процессе приема, также как и высокая устойчивость передающего устройства, позволяет сокращать полосу пропускания приемника до предельно необходимой. Непроизвольная расстройка приемника определяется, главным образом, неустойчивостью частоты гетеродина. Устранение непроизвольной расстройки приемника достигается в схемах с автоматической подстройкой частоты (АПЧ) гетеродина, а чаще всего принятием мер к стабильности элементов самого гетеродина (контуры на керамике, использование термокомпенсации и т. д.). Кварцевая стабилизация гетеродинов приемника применяется только в устройствах, предназначенных для профессиональной радиосвязи, так как для работы в широком диапазоне волн требуются дорогостоящие комплекты из десятков сменных кварцев.

Остановимся кратко на принципе работы схем АПЧ.

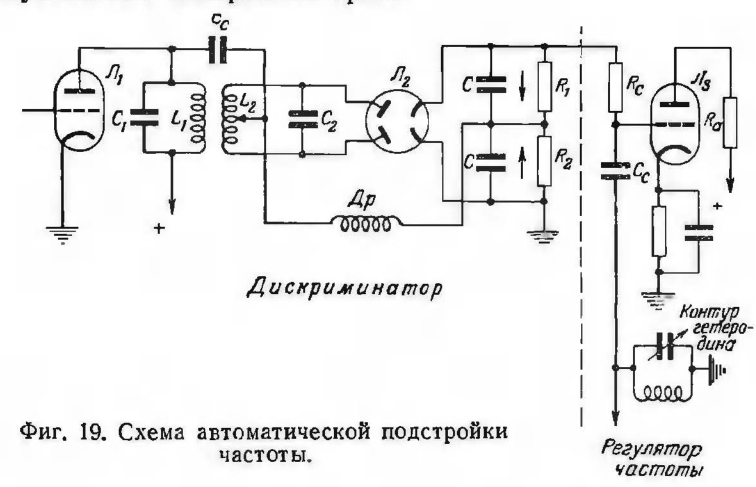
Схемы автоматической подстройки частоты состоят, в основном, из двух частей: дискриминатора и регулятора частоты. При подаче на вход дискриминатора переменного напряжения с изменяющейся частотой на выходе устанавливается постоянное напряжение, величина которого пропорциональна величине отклонения частоты, а полярность соответствует знаку отклонения частоты от некоторого номинального среднего значения.

Если дискриминатор установлен в тракте промежуточной частоты, то при уменьшении последней на выходе дискриминатора появится постоянное напряжение отрицательной полярности. При дальнейшем уменьшении частоты величина отрицательного напряжения будет повышаться. Если промежуточная частота отклонится выше среднего значения, то постоянное напряжение на выходе дискриминатора изменит свой знак и станет положительным. Величина напряжения по мере увеличения расстройки в этом случае также будет возрастать. Наконец, если

промежуточная частота точно соответствует номинальному значению, напряжение на выходе дискриминатора равно нулю.

Выходное напряжение дискриминатора воздействует на лампу — регулятор частоты.

На фиг. 19 приведена одна из наиболее распространенных схем автоматической регулировки частоты с двухтактным дискриминатором.

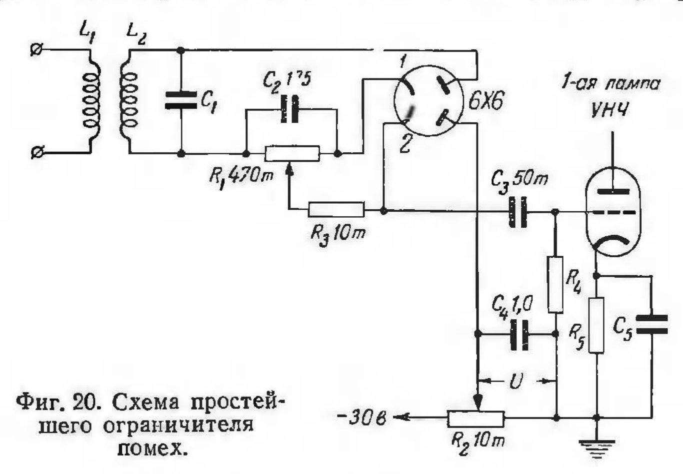


Фиг. 19. Схема автоматической подстройки частоты.

Лампа-регулятор $Л_3$ подключена параллельно гетеродинному контуру, шунтируя его своей входной емкостью, которая, как известно, может меняться в зависимости от величины и знака сеточного смещения. В данном случае смещение задается с нагрузки частотного детектора (на двойном диоде $Л_2$). Таким образом, всякое изменение напряжения, поступающее с дискриминатора, вызовет соответствующее изменение генерируемой гетеродином частоты, расстройка скомпенсируется, и промежуточная частота возвратится к своему номинальному значению.

Схемы, подавляющие импульсные помехи. Существует ряд схем, предназначенных для защиты радиоприема исключительно от импульсных помех. Прежде всего рассмотрим так называемые ограничители помех, т. е. такие схемы, которые уменьшают уровень амплитуды импульсной помехи до уровня максимальной амплитуды сигнала. На фиг. 20 представлена схема простейшего ограничителя. На анод диода *2*, включенного параллельно нагрузке

R_1 детектора приемника (диод *1*), подано отрицательное напряжение *U*. Величина этого напряжения, называемая порогом ограничения, выбирается таким образом, чтобы при максимально возможной амплитуде полезного сигнала диод *2* оставался запертым, а при значениях напряжения, превосходящих *U*, он отпирался. При таком условии продетектированное напряжение полезного сигнала беспрепятственно, независимо от действия диода *2*, будет

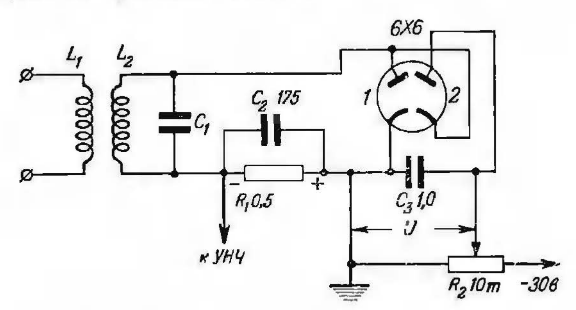


Фиг. 20. Схема простейшего ограничителя помех.

передаваться на первую лампу усилителя низкой частоты. Другое положение будет при действии импульсных помех, амплитуда которых превосходит максимальную амплитуду сигнала. В этом случае напряжение на аноде диода *2* станет положительным, через него потечет ток, и вход усилителя низкой частоты окажется зашунтированным малым сопротивлением диода *2*. Следовательно, помехи, амплитуда напряжения которых превышает порог ограничения *U*, не будут передаваться на вход усилителя низкой частоты, точнее они будут подрезаны, ограничены.

Несколько другим образом происходит ограничение импульсных помех в схеме, приведенной на фиг. 21. В этой схеме, называемой компенсационной, диод *1* также является детектором приемника. Условия детектирования сигнала и импульсной помехи в детекторе одинаковы. Что касается диода *2*, то в нем детектироваться может только напряжение импульсной помехи, ибо при лю-

бом напряжении на контуре L_2C_1, не превышающем максимальную амплитуду сигнала, этот диод заперт напряжением U, действующим навстречу напряжению, снимаемому с контура. Включение диодов *1* и *2* осуществлено таким образом, что выпрямленные ими напряжения на сопротивлении R_1 вычитаются, а это приводит к тому, что напряжение от импульсной помехи на выходе схемы оказывается не больше максимальной амплитуды сигнала. Таким образом, и в этой схеме имеет место ограничение амплитуды импульсной помехи.



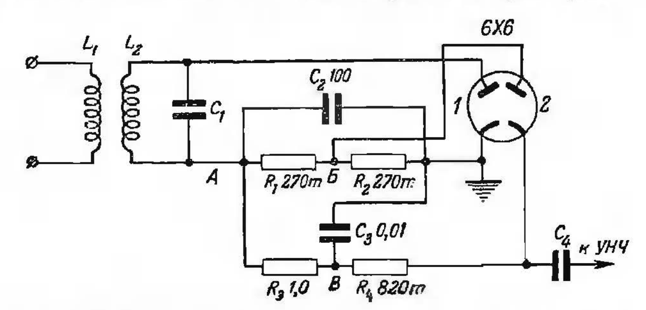
Фиг. 21. Компенсационная схема ограничителя помех.

В обеих приведенных нами схемах ограничителей порог ограничения может регулироваться. Для этого на переднюю панель выводится ручка потенциометра R_2. Регулировка порога ограничения в соответствии с уровнем сигнала может существенно улучшить эффект защиты от импульсных помех. Действительно, импульсные помехи, как известно, могут иметь самые разнообразные амплитуды, в том числе и меньшие, чем максимальная амплитуда сигнала. Снижением порога ограничения можно обеспечить ограничение не только тех импульсов, амплитуды которых превышают максимальную амплитуду сигнала, но и тех многочисленных импульсов, которые превышают фактический уровень сигнала.

Ясно, что более совершенной будет такая схема ограничителя помех, в которой порог ограничения устанавливается автоматически в зависимости от уровня сигнала. На фиг. 22 приведена одна из возможных схем, обладающих таким свойством.

Рассмотрим кратко работу этой схемы.

Предположим, что на сопротивлениях нагрузки детектора R_1 и R_2 принятый немодулированный сигнал после детектирования развивает выпрямленное постоянное напряжение 10 *в*. Сопротивления R_1 и R_2 выбираются по величине одинаковыми. Точка *Б*, с которой соединен анод диода *2* ограничителя, окажется под потенциалом, равным —5 *в* по соотношению к земле. Катод этого же диода через сопротивления R_3 и R_4 соединен с точкой *А*. Таким образом, первоначально катод будет находиться под потенциалом относительно земли, равным примерно —10 *в*.



Фиг. 22. Схема ограничителя помех с автоматической установкой порога ограничения.

При таком соотношении потенциалов на электродах диод *2* становится проводящим, и вход усилителя низкой частоты через конденсатор C_4 будет подсоединен к выходу детектора. Точка *В* через конденсатор C_3 соединена с землей. Этот конденсатор зарядится через сопротивление R_3 до потенциала порядка — 7 *в*. Величины сопротивления R_3 и емкости C_2 выбираются достаточно большими. Поэтому любое изменение потенциала в точке *В*, а значит, и потенциала на катоде диода ограничителя произойдет не ранее, чем через 0,01 *сек*., соответственно величине постоянной времени цепи R_3C_2. Постоянная времени цепи $(R_1 + R_2) \cdot C_1$ выбирается из условия нормального детектирования модулированного сигнала и равна всего 50 *мсек*. Отсюда следует, что новый потенциал на аноде диода ограничителя будет устанавливаться в 200 раз быстрее, чем потенциал катода.

Пусть теперь на вход схемы поступают модулированные колебания. В этом случае потенциал точки *Б*, т. е. потенциал анода диода *2* ограничителя, в соответствии

с модуляцией будет изменяться около своего среднего значения, равного —5 *в*. Потенциал же катода, из-за большой постоянной времени цепи R_2 C_2, будет оставаться практически неизменным. До тех пор, пока анод по отношению к катоду находится под положительным потенциалом, вход усилителя низкой частоты оказывается подключенным к выходу второго детектора, и выделенное последним напряжение звуковой частоты усиливается до требуемой величины. Однако как только изменяющийся в зависимости от модуляции потенциал на аноде диода ограничителя станет по отношению к катоду отрицательным, диод *2* окажется запертым, и вход усилителя низкой частоты отключится от выхода второго детектора. Напряжение на аноде диода *2*, при котором он запирается, для указанных величин сопротивлений соответствует примерно глубине модуляции в 40%.

При импульсных помехах, превышающих величину напряжения, соответствующего 40%-ной модуляции, диод ограничителя будет запираться, и на вход усилителя низкой частоты это напряжение поступать не будет.

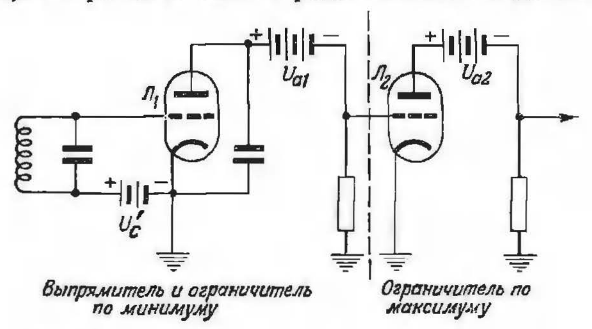
Естественно, что эта схема при приеме сигнала с глубокой модуляцией будет вносить значительные искажения.

Различного рода ограничительные схемы получили широкое применение в приемниках, предназначенных для радиотелеграфирования, в частности для пищущего приема. В таких устройствах ограничение обычно осуществляется по постоянному току, т. е. в выходной части приемника. На фиг. 23 изображены два характерных элемента выходной части радиотелеграфного приемника для пишущего приема: детектор или выпрямитель (левая часть схемы) и ограничитель (правая часть схемы). Выпрямитель служит для преобразования высокочастотных или низкочастотных (при наличии второго гетеродина) телеграфных посылок в посылки (импульсы) постоянного тока. В данном случае показано использование анодного детектора, однако для этой цели могут применяться и диодные детекторы.

Если на сетку выпрямителя задать большое отрицательное смещение, то можно осуществить срезание помех, воздействующих на приемник в паузах между телеграфными посылками. Понятно, что такое срезание помех или, как говорят, ограничение по минимуму имеет смысл толь-

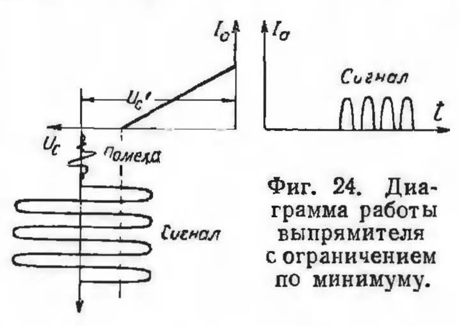
ко в том случае, если амплитуды помех ниже амплитуды сигнала. Фиг. 24 поясняет принцип ограничения по минимуму.

Выше мы уже отмечали, что помехи могут сильно исказить радиотелеграфные сигналы (дробление, вырезки, добавки). Устранение такого рода искажений достигается



Фиг. 23. Схема выпрямителя и ограничителя выходной части радиотелеграфного приемника.

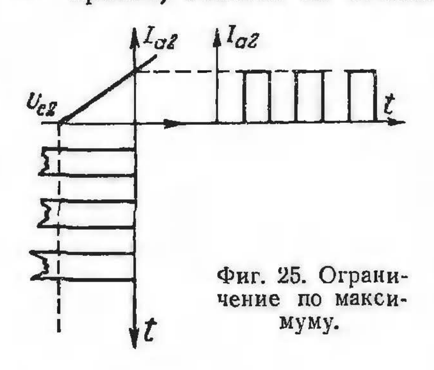
применением так называемых ограничителей по максимуму. Благодаря тому, что на выпрямительную лампу задано смещение U_c', во время паузы она заперта; анодный ток выпрямителя равен нулю. Напряжение на сетке лампы ограничителя $Л_2$ (фиг. 23) также равно нулю и, следовательно, через эту лампу протекает некоторый ток. Во время посылки через лампу выпрямителя $Л_1$ потечет выпрямленный ток, что в свою очередь повлечет появление на сетке лампы $Л_2$ отрицательного смещения. Режим работы



Фиг. 24. Диаграмма работы выпрямителя с ограничением по минимуму.

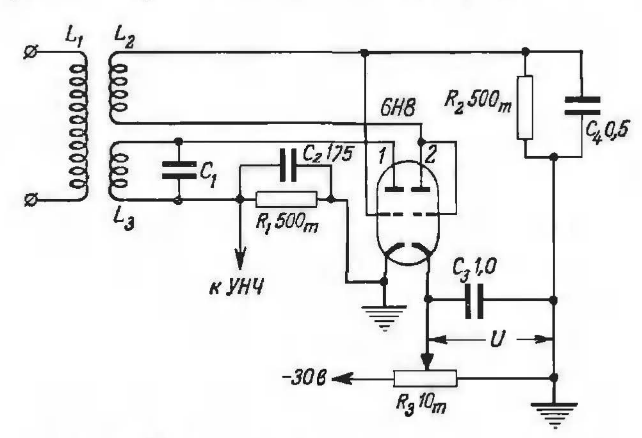
лампы $Л_2$ устанавливается таким образом, чтобы, начиная с некоторой амплитуды сигнала, она полностью запиралась. В этом случае искаженные помехами верхушки посылок будут срезаны, и в анодной цепи $Л_2$ посылки примут правильную форму. Фиг. 25 поясняет принцип действия ограничителя по максимуму.

Кроме ограничительных схем, обеспечивающих определенную защиту от импульсных помех, имеется ряд схем, которые решают эту же задачу путем кратковременного запирания приемника. Этот способ борьбы с импульсными помехами, иногда используемый при радиотелефонном приеме, основан на свойстве человеческого уха не ощущать кратковременных перерывов звука, если длительность перерыва не превышает 1,4 *мсек*, а число перерывов в секунду не более 25—30.



Фиг. 25. Ограничение по максимуму.

На фиг. 26 приведена одна из простейших схем, с помощью которой при действии импульсных помех запирается приемник. Триод *1* выполняет роль детектора полезного сигнала, а триод *2*, сетка которого соединена с анодом,— детектора помехи. На детектор помехи подано запирающее напряжение *U*, величина которого выбрана таким образом, чтобы при максимально возможной амплитуде полезного сигнала детектор помехи оставался запертым, а при амплитудах больших, чем *U*, он отпи-



Фиг. 26. Схема для кратковременного запирания приемника импульсом помехи.

рался. Если обусловленного помехой напряжения нет или оно меньше напряжения U, то так как в этом случае триод *2* заперт, напряжение, развиваемое на сопротивлении R_2, а следовательно, и на сетке триода *1*, равно нулю. Действие триода *1* при этом равноценно действию обычного детекторного диода, и прием осуществляется нормально.

При воздействии импульса помехи триод *2* становится проводящим, на сопротивлении R_2 появляется отрицательное напряжение, которое запирает триод *1*, и процесс детектирования сигнала на время действия импульса помехи прекращается — приемник запирается.

Выводы

Мы рассмотрели ряд способов защиты радиоприема от воздействия внешних активных помех. Применяемые при «обычных» способах передачи, т. е. при амплитудной модуляции в случае телефонии, и паузном коде — при телеграфии, они в той или иной степени улучшают условия приема при наличии помех, но не решают кардинально всей проблемы борьбы с помехами.

За последние 10—15 лет с целью достижения большей помехоустойчивости радиосвязи и вещания в радиотехнике определилось стремление применить принципиально новые методы передачи и приема.

В конце книги будут рассмотрены некоторые из этих новых методов.

ПАССИВНЫЕ РАДИОПОМЕХИ

Кроме активных помех на качество и устойчивость радиоприема существенное влияние оказывают так называемые пассивные помехи. Пассивные помехи обусловлены некоторыми природными явлениями, которые нарушают нормальное распространение радиоволн от передающей радиостанции к месту приема.

Рассмотрим кратко основные виды пассивных радиопомех, их природу и те меры, которые применяются для борьбы с ними.

Замирание (фединг)

Распространение радиоволн связано с регулярными изменениями напряженности поля в месте приема в зависимости от времени суток, времени года, а также от

года к году. Эти изменения учитываются обычно при проектировании радиолиний, выборе мощности и длины волны, чувствительности приемника и т. д.

Однако, кроме этих регулярных изменений, наблюдаются еще и быстрые, глубокие беспорядочные изменения силы поля, которые носят название замираний. Явление замирания при приеме проявляется в том, что сила звука, несмотря на неизменность настройки приемника, начинает постепенно уменьшаться (вплоть до полного пропадания звука), затем снова возрастает, достигая первоначальной величины. Такие изменения силы звука могут весьма часто следовать друг за другом. Продолжительность одного замирания различна — она может длиться от долей секунды до нескольких минут.

Качество приема радиотелефонии резко ухудшается при замираниях, во-первых, из-за снижения напряженности поля сигнала до уровня помех и, во-вторых, вследствие искажения тембра передачи, вплоть до полной потери разборчивости.

При радиотелеграфии явление замирания вызывает выпадание знаков на приеме.

Причина замирания заключается в том, что в приемный пункт радиоволны от данного передатчика попадают различными путями. Одни волны распространяются непосредственно вдоль земной поверхности; эту группу волн называют земным или поверхностным лучом. Другие волны попадают к пункту приема по криволинейной траектории в результате отражения от верхних слоев атмосферы—ионосферы. Эти волны образуют так называемый небесный или пространственный луч.

В диапазоне 200—2 000 *м* обычно осуществляется прием и поверхностного, и пространственного лучей. Прием дальних коротковолновых станций происходит, как правило, только за счет пространственного луча. Благодаря неравномерности ионизации и изменения во времени и пространстве высоты расположения ионосферы в пункт приема могут попасть радиоволны, длина пути которых различна. В результате сложения отдельных пространственных лучей (на коротких волнах) или сложения этих лучей с поверхностными лучами (на волнах радиовещательного диапазона) в приемнике получится либо ослабление, либо усиление амплитуды принимаемого сигнала. Если, например, две волны придут с одинаковыми

фазами, то получится усиление сигнала. Если же они будут иметь противоположные фазы, то получится ослабление или даже почти полное пропадание слышимости. Ввиду того, что состояние ионосферы подвержено беспорядочным изменениям, пути пространственных лучей также меняются, а следовательно, меняются фазы приходящих волн. Таким образом, амплитуда сигнала непрерывно меняется, временами увеличиваясь, временами падая.

Для ослабления вредного влияния замирания на радиоприем применяются следующие способы:

1. Использование широко известной автоматической регулировки усиления приемника. В приемниках, имеющих такую регулировку, усиление тем больше, чем слабее сигнал на входе. Следовательно, при наличии автоматической регулировки усиления, действующей в широких пределах, изменение напряженности поля, даже в несколько сот раз, существенно не отразится на громкости приема. Однако АРУ не может полностью решить задачу защиты радиоприема от замирания (в частности, в тех случаях, когда уровень сигнала падает ниже уровня помех).

2. Радиоприем на разнесенные антенны. Этот способ борьбы с явлением замирания, широко применяемый на магистральных линиях радиосвязи, основан на том, что замирание в различных точках вокруг приемной радиостанции наступает не одновременно, а с некоторым сдвигом во времени. На антенном поле приемного центра располагают, на достаточно большом расстоянии друг от друга (порядка 3—4 длин волн), две или три антенны. Каждую из этих антенн соединяют со входом отдельного приемника и принятые сигналы складывают. Так как вероятность одновременного замирания сигнала в двух или, тем более, в трех точках антенного поля значительно меньше, чем в случае одной антенны, то зависимость уровня результирующего сигнала от замирания, как показывает опыт, практически исключается.

3. Использование «антифединговых» антенн, позволяющих осуществить излучение радиоволн так, что пространственные лучи оказываются весьма сильно ослабленными. Ясно, что если в пункт приема будут приходить только поверхностные лучи, то сама причина возникновения замирания совершенно устраняется. Этот способ

борьбы с замиранием используется главным образом на средних волнах и дает достаточно хорошие результаты.

Кроме перечисленных мер, уменьшение влияния замирания, очевидно, дадут все мероприятия, поднимающие величину сигнала на входе приемника (увеличение мощности передатчика и эффективности приемных и передающих антенн и др.).

Резким изменениям состояния ионосферы обязан еще один вид пассивной помехи—внезапное и резкое ухудшение нормальных условий распространения радиоволн. Это явление проявляется в том, что внезапно по всем коротковолновым линиям радиосвязи, проходящим полностью или частично по освещенной солнцем части земного шара, совершенно прекращается связь. Исследование этого явления показывает, что оно находится в прямой зависимости от солнечной активности. Когда обнажаются внутренние части солнца, происходит очень интенсивное излучение ультрафиолетовых лучей. Эта интенсивная ультрафиолетовая радиация вызывает такое сильное поглощение пространственных радиоволн, что уровень напряженности поля в месте приема настолько падает, что он оказывается ниже уровня помех, и радиоприем прекращается.

Радиоэхо

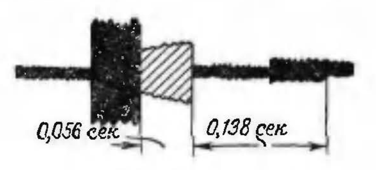
Явление радиоэхо особенно наглядно проявляется при автоматическом приеме дальних радиотелеграфных станций. В этом случае принятый сигнал через короткие промежутки времени повторяется еще один, два и даже три раза, причем все слабее и слабее (фиг. 27), т. е. точно так же, как при всем известном явлении звукового эхо.

Фиг. 28 поясняет, каким образом получается радиоэхо.

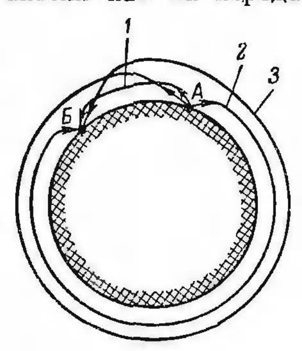
Появление повторного или эхо-сигнала объясняется тем, что приемник воспринимает радиоволны, дошедшие как по кратчайшему пути *А1Б* вдоль большой дуги земного шара, так и вокруг земного шара в обратном направлении, по пути *А2Б*. Кроме того, приемник воспринимает также радиоволны, обошедшие полностью вокруг земного шара по пути *А3Б*. Справедливость приведенного объяснения подтверждается тем, что разность между временем приема основного сигнала и временем приема эхо-сигнала, прошедшего полностью вокруг земного шара, как это установлено, равняется 0,138 сек., т. е. как раз равно тому времени, которое требуется для того, чтобы

радиосигнал, распространяясь со скоростью света, обошел на высоте ионосферы путь вокруг земного шара. Кругосветное радиоэхо, как правило, имеет место лишь на волнах порядка 13—18 *м* в летние месяцы. Обратное радиоэхо наблюдается на более длинных волнах коротковолнового диапазона, зимой в дневные часы.

Наиболее эффективная мера борьбы с радиоэхо —это применение однонаправленных антенн как на передающем, так и на приемном конце. Даже при десятикратном ослаблении излучения в обратном направлении и таком же ослаблении в месте приема, эхосигнал будет снижен в 100 раз.



Фиг. 27. Запись кругосветного эхо.



Фиг. 28. Схема кругосветного эхо.

Такое ослабление вполне достаточно для устранения влияния эхо-сигнала даже в тех, весьма редких случаях, когда из-за замирания основной сигнал приглушен, а эхосигнал усилен.

Из других мер, принимаемых для устранения радиоэхо, в частности при радиотелеграфном приеме, можно указать на упоминавшееся выше ограничение по минимуму. Использование ограничения по минимуму для этой цели основано на том, что амплитуда эхо-сигнала меньше амплитуды основного сигнала.

«Горьковско-Люксембургский» эффект

Этот вид пассивной радиопомехи, впервые отмеченный одновременно в г. Горьком и Голландии, проявляется в следующем. Когда на пути распространения радиоволн от принимаемой радиостанции к приемнику расположена мощная радиостанция (хотя бы и работающая на совершенно другой волне), то на принимаемую программу накладывается передача мощной радиостанции, т. е. как бы происходит перекрестная модуляция в про-

странстве. Если на принимаемой радиостанции выключится модуляция и она будет излучать только несущую, то приемник воспроизведет программу мощной мешающей радиостанции, хотя он на эту станцию и не настроен. Если принимаемая станция выключится, то и воспроизведение программы мощной мешающей станции также прекратится.

Исследование этого явления показало, что оно имеет место лишь на длинных и средних волнах и что мешающее действие мощного передатчика простирается на расстояние нескольких сотен километров.

Причина «Горьковско-Люксембургского» эффекта кроется в следующем. Среда, в которой распространяются и отражаются радиоволны, частично их поглощает. Если поглощение будет периодически изменяться, то соответственно будет изменяться и напряженность поля в месте приема, т. е. радиоволны окажутся промодулированными с частотой изменения поглощения среды. При «Горьковско-Люксембургском» эффекте поглощение среды изменяется под воздействием сильного переменного электромагнитного поля, создаваемого мощной станцией. Поскольку сила этого поля меняется в такт с частотой модуляции станции, то и величина поглощения среды будет также изменяться с частотой модуляции. В результате этого пространственные радиоволны от других более отдаленных станций, распространяясь через поле мешающей станции, будут претерпевать дополнительную модуляцию от мешающей станции. Помехи за счет упомянутого эффекта можно практически исключить при использовании на передатчике антифединговых антенн.

ВНУТРЕННИЕ ШУМЫ ПРИЕМНИКА

Как уже указывалось во введении, кроме помех, проникающих извне, в приемных устройствах имеют место собственные, внутренние помехи или, иначе, внутренние шумы.

Внутренние помехи в приемнике имеют место по трем причинам:

1. Из-за наличия теплового движения электронов во входных цепях радиоприемного устройства, порождающего так называемые контурные шумы.

2. Из-за наличия некоторых процессов в электронных лампах, обусловливающих внутриламповые шумы.

3. Из-за фона переменного тока, отсутствия надежных контактов, низкой изоляции деталей и т. п.

Последняя группа причин при наличии достаточно хороших фильтров в выпрямителе, использовании высококачественных деталей, хорошо продуманном и выполненном монтаже может совершенно отсутствовать в приемниках. Более неприятными являются две первые причины, органически присущие каждому радиоприемнику.

Контурные шумы

При усвоении основ электротехники и радиотехники наши представления о тепловом движении электронов внутри проводника могли ограничиться предположением, что ввиду хаотичности этого движения заряды электронов уравновешиваются зарядами положительно заряженных протонов, и сам проводник, таким образом, является электрически нейтральным. Это элементарное представление недостаточно при рассмотрении картины происхождения контурных шумов.

Детальные исследования процессов, связанных с тепловым движением электронов в проводнике, позволили установить наличие отклонений (флюктуаций)[1] электрического состояния проводника от равновесия: в некоторые моменты времени на одном конце проводника оказывается избыток электронов, а на другом — недостаток, затем наоборот и т. д. В результате такого положения на концах проводника появится хаотическое переменное напряжение. Если этот проводник включен, например, между сеткой и катодом первой лампы приемника, то возникшее напряжение усилится и вызовет в телефонах, включенных на выходе приемника, шум (своеобразное шипение). К участку сетка — катод первой лампы приемника обычно подключается контур (входная цепь приемника), поэтому шумы, возникающие от теплового движения в контуре, именуют контурными шумами. Напряжение же, возникающее на концах проводника вследствие теплового движения электронов, именуется напряжением шумов.

---

[1] От этого слова происходит часто встречающееся в радиотехнической литературе наименование внутренних шумов приемника флюктуационными помехами.

Установлено, что напряжение шумов проводника зависит от его температуры и величины сопротивления, но почти не зависит от материала проводника. Так как движение электронов имеет совершенно хаотический характер и скорость их непрерывно меняет свою величину и направление, то напряжение шумов не имеет явно выраженной частотной зависимости. Это напряжение слагается из бесчисленного множества составляющих, имеющих самые разнообразные частоты, от самых низких до самых высоких. Если в качестве проводника рассматривать контур, имеющий определенную полосу пропускания частот, то на его зажимах, очевидно, смогут выделиться только те составляющие напряжения шума, которые имеют частоты, соответствующие полосе пропускания. Таким образом, оказывается, что напряжение шума зависит не только от температуры и величины сопротивления проводника, но и от полосы пропускания контуров приемника.

Величина напряжения шумов на концах проводника $U_ш$ в вольтах может быть определена по формуле

$$U_ш = \sqrt{4kTR\Delta f},$$

где k — постоянная Больцмана, равная $1{,}38 \cdot 10^{-23}$ джоулей/градус;
R — сопротивление, *ом*;
Δf — полоса пропускания, *гц*;
T — абсолютная температура $(273^\circ + t^\circ\,C)$.

Полагая среднюю температуру t равной 17° С, и выражая $U_ш$ в микровольтах, R — в тысячах ом и Δf — в килогерцах после элементарных преобразований можно предыдущую формулу привести к форме весьма удобной для технических расчетов:

$$U_ш = \frac{1}{8}\sqrt{R\Delta f}.$$

Если в качестве проводника рассматривать настроенный контур, то по отношению к резонансной частоте он будет представлять чисто активное сопротивление, определяемое как

$$Z = \omega LQ,$$

где $\omega = 2\pi f$ — резонансная частота;

L — индуктивность контура;

Q — добротность контура.

Вычисляя величину напряжения контурных шумов, необходимо в предыдущей расчетной формуле R заменить резонансным сопротивлением контура Z. Тогда

$$U_{шк} = \frac{1}{8}\sqrt{Z\Delta f}.$$

Пример. Пусть входной контур приемника настроен на частоту $f = 5\,000$ *кгц*, полоса пропускания $\Delta f = 9$ *кгц*, индуктивность контура $L = 20$ *мкгн*, добротность контура $Q = 100$. Определим напряжение контурного шума:

$$Z = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 5 \cdot 10^{6} \cdot 20 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{2} = 62\,800 \text{ ом};$$

$$U_{шк} = \frac{1}{8}\sqrt{62{,}8 \cdot 9} = 2{,}98 \text{ мкв}.$$

Полученная цифра показывает порядок величины напряжения контурного шума. Ясно, что контурные шумы обусловливают весьма ощутимые помехи приему слабых сигналов; все сигналы, создающие на контуре напряжение 3 *мкв* и меньше, уже не будут воспроизведены приемником, так как на фоне контурного шума они не смогут быть выделены.

Напряжение контурного шума имеет непрерывно меняющуюся амплитуду и содержит самые разнообразные частоты со случайными сдвигами фаз.

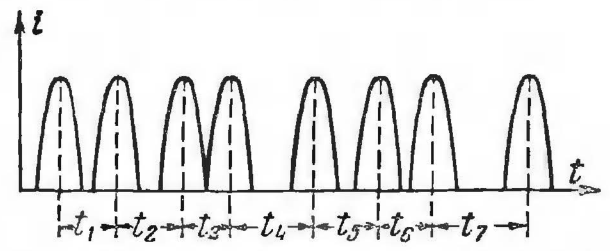
Контурные шумы по своему электрическому характеру являются «гладкими» помехами.

Внутриламповые шумы

Другая часть внутренних шумов приемника образуется электронными лампами, в анодных цепях которых даже при отсутствии напряжения на сетках имеют место беспорядочные колебания тока. Причинами этих хаотических колебаний анодного тока являются: дробовой эффект, вторичная эмиссия электронов, наличие в лампах положительных ионов, тепловой эффект в лампах и др. Разберем характер указанных явлений.

Сущность дробового эффекта состоит в следующем: ток между анодом и катодом, представляющий собой поток электронов, может быть уподоблен очень большому числу «дробинок», ударяющихся об анод. Вполне понятно, что при этом не может быть и речи о непрерывности и равномерности анодного тока. В разные моменты времени на анод поступает различное количество электронов; это и вызывает беспорядочные колебания анодного тока. Порождаемые лампами шумы подобны контурным шумам, т. е. внутриламповые шумы имеют бесчисленное множество составляющих с самыми разнообразными частотами, непрерывно меняющимися амплитудами и фазами. Так же как и контурные, внутриламповые шумы относятся к «гладким» помехам.

Для уяснения механизма возникновения в лампе дробового эффекта следует иметь в виду, что в этом случае важен не просто факт прибытия заряда на анод порциями, а беспорядочность, хаотичность этого прибытия. Фиг. 29 поясняет дробовой эффект. Здесь по вертикальной оси отложен ток i, а по горизонтальной оси — время t. Каждый «всплеск» тока изображает прибытие на анод электронов. Отсутствие равенства t_1, t_2, t_3, ... t_7 ... между собой и определяет дробовой эффект.



Фиг. 29. Графическое пояснение дробового эффекта.

Величина напряжения шума на нагрузке, включенной в анодную цепь лампы, вследствие дробового эффекта достигла бы очень больших значений, если бы в реальных условиях работы электронной лампы отсутствовал пространственный заряд. Наличие пространственного заряда в значительной степени ослабляет дробовой эффект. Действительно, пространственный заряд, когда в его область попадает электрон, летящий с катода на анод, тормозит его движение. Чем сильнее пространственный за-

ряд, тем сила торможения будет больше. В результате электроны, выходящие из области пространственного заряда, движутся к аноду более упорядоченно, и отклонение электронного тока от его среднего значения становится меньше.

Внутриламповые шумы сильно увеличиваются в случае возникновения вторичной эмиссии с какого-либо электрода (например, экранирующей сетки) и перехода вторичных электронов на анод. Происходит это потому, что вылет вторичных электронов из металла является таким же хаотическим процессом, как и эмиссия электронов из катода. Увеличение внутриламповых шумов за счет излучения вторичных электронов особенно заметно в экранированных лампах, где вторичная эмиссия весьма резко выражена (динатронный эффект). Поэтому внутренние шумы в экранированных лампах имеют значительно больший уровень, чем в трехэлектродных. Подавление динатронного эффекта в пентодах введением специальной защитной сетки несколько уменьшает внутриламповые шумы, но все же и в пентодах шумы в 3—5 раз больше, чем в триодах.

Выше указывалось, что наличие пространственного заряда в лампе уменьшает неравномерность электронной эмиссии и способствует снижению внутрилампового шума за счет дробового эффекта. Однако полное устранение дробового эффекта пространственным зарядом невозможно из-за наличия в лампе, вследствие несовершенства вакуума, положительных ионов. Влияние положительных ионов сказывается в том, что при их движении к катоду они неравномерно изменяют величину пространственного заряда. Малейшее же изменение последнего, как известно, резко отзывается на величине анодного тока. Таким образом, наличие даже небольшого количества положительных ионов влечет за собой увеличение колебаний анодного тока, т. е. рост внутрилампового шума.

На уровень внутрилампового шума заметно влияет тепловой эффект внутри самой лампы. Электроны, составляющие пространственный заряд, так же как и свободные электроны в проводнике, находятся в непрерывном тепловом движении. Поэтому величина пространственного заряда из-за теплового эффекта не остается одинаковой и постоянной во всех точках, а все время из-

меняется, что, как уже известно, усиливает хаотические колебания анодного тока.

При работе лампы в ультракоротковолновом и, особенно, в дециметровом диапазоне отмечается заметное увеличение уровня ее внутренних шумов по сравнению с шумами лампы на более низких частотах. Это увеличение внутрилампового шума происходит за счет влияния времени пробега электронов между электродами. При весьма высоких частотах, когда время пробега электронов становится соизмеримым с периодом усиливаемых колебаний, электроны, удаляющиеся от катода, наводят в цепи сетки ток. Но движение электронов в лампе, в силу рассмотренных выше причин, подвержено беспорядочным хаотическим колебаниям. Поэтому хаотическим колебаниям будет подвергнут и наводимый сеточный ток, который, проходя через контур или сопротивление, включенное в сеточную цепь, создаст на нем хаотически меняющееся напряжение. Это напряжение, усиленное лампой, увеличит хаотические колебания анодного тока и, следовательно, вызовет повышение уровня внутрилампового шума.

Появление за счет влияния времени пробега электронов дополнительного сеточного тока вызывает уменьшение входного сопротивления лампы. Следовательно, входное сопротивление может служить мерилом уровня внутриламповых шумов при использовании лампы на ультракоротких волнах. Если входное сопротивление лампы большое, то влияние времени пробега электронов невелико и, следовательно, шумы лампы, обусловленные влиянием времени пробега электронов, будут иметь небольшую величину; если входное сопротивление лампы мало, то шумы будут иметь значительную величину.

Установлено, что эффективное значение величины беспорядочно изменяющейся переменной составляющей анодного тока, которая обусловливает внутриламповый шум, пропорциональна корню квадратному из величины общего анодного тока I_a лампы и полосы частот пропускания Δf того усилителя, в котором лампа установлена, т. е.

$$I_ш = A\sqrt{I_a \Delta f},$$

где A — коэффициент пропорциональности.

Для сравнения ламп различных типов с точки зрения их шумовых качеств удобно считать, что беспорядоч-

ные колебания анодного тока создаются некоторым переменным напряжением, называемым эквивалентным напряжением шума и приложенным между участком сетка—катод лампы. Известно, что величина переменного напряжения на сетке лампы U_c связана с величиной переменной составляющей анодного тока I_a соотношением

$$U_c = \frac{I_a}{S},$$

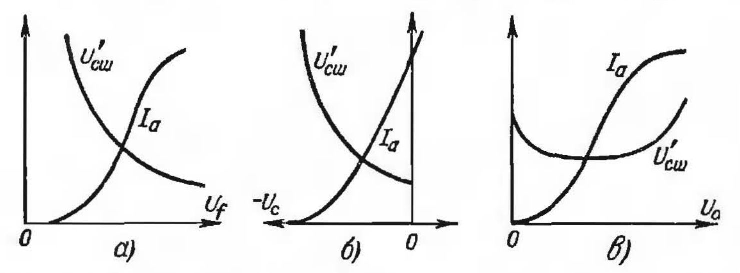
где S— крутизна характеристики анодного тока.

Заменяя U_c через $U_{сш}$ и I_a через $I_ш$, получим:

$$U_{сш} = \frac{I_ш}{S}.$$

Отсюда следует очень важный вывод: величина уровня внутриламповых шумов обратно пропорциональна крутизне характеристики лампы; с увеличением крутизны внутриламповые шумы будут уменьшаться.

Влияние рабочего режима ламп на величину уровня



Фиг. 30. Влияние рабочего режима ламп на уровень их шумов.

внутриламповых шумов хорошо иллюстрируется кривыми, приведенными на фиг. 30. На фиг. 30, *а* приведена зависимость величины эквивалентного напряжения шума $U_{сш}$ от величины напряжения накала U_f; на фиг. 30, *б*—зависимость $U_{сш}$ от величины напряжения смещения U_{c1} и на фиг. 30, *в*—зависимость $U_{сш}$ от величины напряжения на аноде U_a.

Кривые позволяют сделать следующие заключения о влиянии рабочего режима лампы на величину внутрилампового шума:

1. С ростом напряжения накала уровень внутрилампового шума уменьшается. Это объясняется увеличе-

нием (при постоянных U_a и U_c) пространственного заряда, который, как уже известно, противодействует дробовому эффекту.

2. Увеличение отрицательного смещения на управляющей сетке повышает уровень внутрилампового шума. Это является результатом перемещения рабочей точки на левый участок характеристики $I_a = f(U_c)$, где крутизна уменьшается.

3. Низкое анодное напряжение способствует росту уровня внутриламповых шумов. При низких анодных напряжениях движение электронов имеет более беспорядочный характер, так как оно в значительной мере определяется величиной собственных начальных скоростей электронов.

Для оценки уровня шумов в лампе, независимо от полосы пропускания устройства, где она установлена, принято относить шумы лампы к 1 *кгц* полосы пропускания. Это удельное эквивалентное по шуму напряжение на сетке $U'_{сш}$ равно: в триодах $0{,}15 \div 0{,}70$ *мкв/кгц*$^{1/2}$ и в пентодах $0{,}40 \div 0{,}50$ *мкв/кгц*$^{1/2}$. Очевидно, что эквивалентное по шуму напряжение на сетке $U_{сш}$ связано с удельным эквивалентным по шуму напряжением $U'_{сш}$ соотношением $U_{сш} = U'_{сш}\sqrt{\Delta f}$.

Например, для лампы 6К7 $U'_{сш} = 0{,}5$ *мкв/кгц*$^{1/2}$. При $\Delta f = 9$ *кгц* $U_{сш} = 0{,}5\sqrt{9} = 1{,}5$ *мкв*.

Оценка уровня шумов в лампе производится еще и величиной эквивалентного сопротивления по шуму. Этот способ оказывается во многом удобнее, чем отнесение шума к полосе в 1 *кгц*. Эквивалентное по шуму сопротивление для лампы—это такое сопротивление, которое, будучи включено сеткой и катодом, создает своим напряжением шума (за счет теплового эффекта) в анодной цепи такой уровень беспорядочных колебаний тока, какой в лампе создается за счет всех рассмотренных нами причин (дробовой эффект, вторичная эмиссия и др.). Величины эквивалентных сопротивлений шумов некоторых типов ламп приведены в табл. 3.

Выше было показано, как подсчитываются контурные и внутриламповые шумы. Общие внутренние шумы приемника $U_{шпр}$ представляют собой среднегеометрическую

Таблица 3

Эквивалентные сопротивления шумов ламп (режимы нормальные)

Тип лампы	Применение лампы	Эквивалентные сопротивления шумов, *ом*
6SK7	Пентод-усилитель	11 000
6SJ7	Пентод-усилитель	5 800
6SG7	Пентод-усилитель	3 100
	Пентод-смеситель	12 400
	Пентод-усилитель	720
6AC7	Пентод-смеситель	3 000
	Пентод-усилитель	200
	Пентод-смеситель	950
6J5	Триод-усилитель	1 250
	Триод-смеситель	6 100
6SA7	Гептод-преобразователь	210 000
6L7	Гептод-смеситель	210 000

сумму величин обоих видов шумов. Расчет их производится по формуле

$$U_{шпр}=\sqrt{U^2_{шк}+U^2_{шл}}.$$

Для лампы 6К7 в нашем примере (стр. 57,62)

$$U_{шпр}=\sqrt{2{,}98^2+1{,}5^2}=3{,}34 \text{ мкв}.$$

Меры борьбы с внутренними шумами

Знание причин, порождающих внутренние шумы приемника, и факторов, влияющих на величину их уровня, позволяет при расчете и конструировании приемника принимать некоторые меры борьбы с ними.

С точки зрения борьбы с внутренними шумами (не касаясь других причин) прежде всего следует рекомендовать использование в супергетеродине ступени высокой частоты перед преобразовательной лампой. Наличие большого количества электродов, находящихся под положительным потенциалом, небольшая крутизна (крутизна преобразования, как известно, меньше крутизны усиления) и другие причины делают преобразовательную лампу главным источником внутреннего шума приемника. Шумы преобразователя достигают весьма больших величин, и как бы велико ни было усиление по промежуточ-

ной частоте, реальная чувствительность приемника, имеющего первой ступенью преобразователь, будет невелика.

Для уменьшения шумов в усилителе высокой частоты надо использовать лампу, имеющую малый анодный ток и большую крутизну. Экранное напряжение, задаваемое на лампу УВЧ, должно быть минимально возможным. Отрицательное смещение также должно быть небольшим. Нельзя на первой лампе допускать недокал и пониженное анодное напряжение. Для ультракоротковолнового диапазона эти требования должны быть дополнены требованием достаточно большой величины входного сопротивления лампы.

Ступень высокой частоты должна давать большое усиление, чтобы к сетке преобразователя подвести напряжение, значительно превышающее его шумы.

Широкое применение в качестве первой лампы приемника находят высокочастотные пентоды. Существуют типы пентодов, при конструировании которых приняты особые меры для уменьшения их шумов (например, телевизионный пентод 6АС7). Эти пентоды предназначены специально для использования в качестве входных ламп приемника.

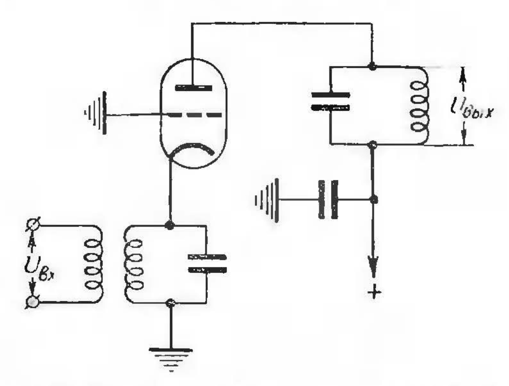
В последнее время, в частности на ультракоротковолновом диапазоне, где, как мы знаем, помехи радиоприему в основном определяются внутренними шумами, стала использоваться схема, предложенная в 1931 г. проф. М. А. Бонч-Бруевичем, позволяющая применить в качестве входной лампы триод.

Нам уже известно, что триод по своим шумовым качествам в значительной степени превосходит пентод. Обычные схемы усилителей высокой частоты на триодах не всегда удовлетворительны из-за влияния значительной величины емкости сетка—анод. Большая величина этой емкости является причиной самовозбуждения и неустойчивости работы усилителя. Влияние емкости сетка—анод удается устранить в схеме М. А. Бонч-Бруевича. В этой схеме (фиг. 31), называемой усилителем с заземленной сеткой, сетка заземлена, а катод подключен к входной цепи. Как и в обычных схемах (с заземленным катодом), входное напряжение действует между участком сетка — катод. Выходное же напряжение, в отличие от обычной схемы, где оно снимается с промежутка анод-катод, оказывается между анодом и сеткой. Паразитная

обратная связь между анодной и сеточной цепями в схеме усилителя с заземленной сеткой определяется не емкостью анод — сетка, а емкостью анод — катод, величина которой незначительна.

Усилитель с заземленной сеткой может обеспечить усиление порядка 3 ÷ 4, а по устойчивости в работе не уступает схемам на пентодах.

Введение в схему супергетеродина усилителя высокой частоты несколько ее усложняет. При конструировании

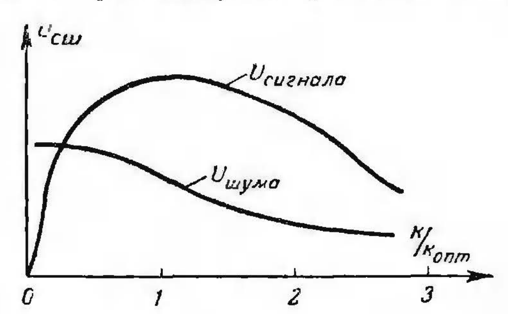


Фиг. 31. Схема усилителя с заземленной сеткой.

приемников, особенно недорогих, могут возникнуть обстоятельства, не позволяющие применить дополнительный настраиваемый контур. В этом случае можно пойти на применение в качестве первой ступени апериодического усилителя, который обеспечивал бы определенное уменьшение шумов и более или менее равномерное усиление всей полосы частот, перекрываемых данным поддиапазоном приемника. Конечно, апериодический усилитель не может дать такой же эффект, как усилитель с настраивающимся контуром, так как анодный контур создает дополнительную селекцию для всякого рода помех.

Весьма существенное значение для уменьшения влияния внутренних шумов приемника имеет входная цепь. В качестве входного контура необходимо применять контур хорошего качества, ибо это способствует повышению отношения сигнала к помехе. Как известно, благодаря своим резонансным свойствам настраивающийся контур усиливает колебания резонансной частоты пропорциональ-

но добротности контура Q: э. д. с. сигнала, введенного в контур, увеличивается в Q раз, и на контуре создается напряжение, в Q превышающее э. д. с. Значит, если мы увеличим Q контура в два раза, то и напряжение на контуре увеличится в два раза. Но повышение Q контура в два раза повлечет за собой увеличение полного резонансного сопротивления контура Z тоже в два раза, так как $Z = \omega LQ$. Контурные же шумы увеличиваются пропорционально корню квадратному из величины резонанс-



Фиг. 32. Зависимость напряжений сигнала и шума на сетке первой лампы от величины связи входного контура с антенной.

ного сопротивления контура Z или, что то же, пропорционально корню квадратному из Q, т. е. повышение Q в два раза повлечет за собой увеличение контурных шумов в $\sqrt{2}$ раз.

Таким образом, повышение добротности контура в два раза способствует улучшению отношения сигнала к шуму в $2/\sqrt{2} \approx 1{,}4$ раза, не говоря уже о повышении селективных свойств приемника.

Повышение отношения сигнала к шуму достигается еще и увеличением связи входного контура с антенной. На фиг. 32 приведена зависимость напряжений сигнала и шума на сетке первой лампы от величины индуктивной связи входного контура с антенной. Как это следует из хода кривых, напряжение сигнала достигает своей максимальной величины при определенном значении связи, называемом оптимальным.

Однако по мере увеличения связи во входной контур вносится все большее сопротивление из антенной цепи. Добротность входного контура падает, а это влечет за

собой снижение уровня контурного шума. Оказывается, что наиболее выгодное отношение сигнала к контурным шумам получается при связи несколько большей оптимальной.

Правильный расчет входной цепи, правильный выбор лампы первой ступени приемника, режим ее работы — практически определяют уровень внутренних шумов приемника. Усиленное первой ступенью напряжение сигнала должно значительно превосходить эквивалентное напряжение шумов на сетке последующей лампы, и поэтому с ними практически можно не считаться.

Кроме рассмотренных выше мер борьбы с внутренними шумами приемника, как уже отмечалось, дополнительного снижения их уровня можно достигнуть за счет сужения полосы пропускания приемника.

Современная техника радиоприема достигла наибольших успехов в борьбе именно с рассмотренным нами в настоящем разделе видом помех, т. е. внутренними шумами приемника. Результатом этого явилась возможность создания исключительно чувствительных радиолокационных приемников, способных обнаружить такие слабые импульсные сигналы, как, например, сигналы, отраженные от луны.

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ПЕРЕДАЧИ И ПРИЕМА

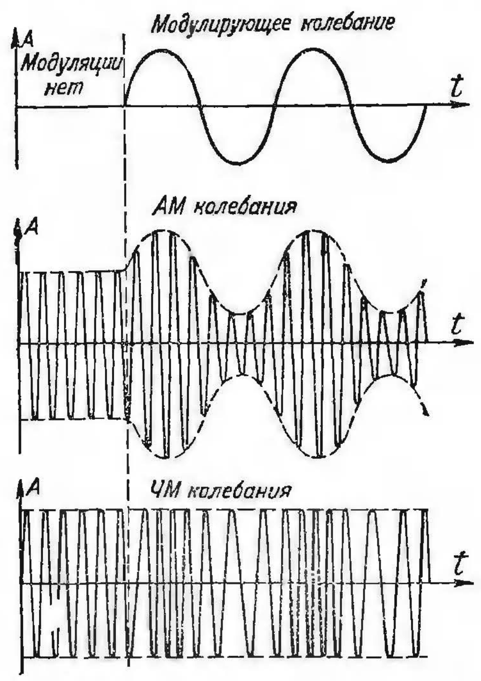
Выше мы рассмотрели различные виды радиопомех, их вредное влияние на радиоприем и основные меры борьбы с ними. При этом мы предполагали, что в случае телефонии радиопередача осуществляется посредством амплитудной модуляции, а в случае телеграфии — посредством амплитудной манипуляции, т. е. при использовании паузного кода.

Однако уже давно возник вопрос, являются ли эти способы радиосвязи лучшими и нельзя ли в целях эффективной борьбы с помехами применить другие способы радиопередачи и приема?

В настоящее время применяются более совершенные способы радиоприема и радиопередачи, значительно повысившие надежность и устойчивость радиосвязи. Рассмотрим кратко некоторые из этих способов, главным образом с точки зрения того, какой выигрыш достигается при их использовании в деле повышения помехозащищенности радиоприема.

Частотная модуляция

При системе амплитудной модуляции несущая частота изменяется по своей амплитуде соответственно закону модулирующих колебаний. Если амплитуда модулирующих колебаний увеличивается, то глубина модуляции ко-



Фиг. 33. Характер колебаний при амплитудной и частотной модуляции.

лебаний высокой частоты возрастает. Амплитуда несущей частоты остается постоянной только тогда, когда модуляция не происходит.

При частотной модуляции амплитуда несущей частоты остается все время неизменной. Под воздействием же модулирующих колебаний происходит определенное изменение самой несущей частоты, которая в зависимости от высоты тона быстро или медленно отклоняется в обе стороны от своей средней величины. Если амплитуда модулирующего звука мала, то и отклонение частоты, на-

зываемое девиацией, также мало; при передаче громких звуков девиация сильнее. Фиг. 33 иллюстрирует различие частотно-модулированных колебаний от амплитудно-модулированных.

Осуществить частотную модуляцию принципиально довольно просто. Для этого, например, достаточно параллельно контуру генератора с самовозбуждением включить так называемый конденсаторный микрофон. Последний состоит из двух пластин, одна из которых может колебаться под действием звуковых волн, изменяя при этом емкость конденсатора, который образуют пластины. Всякое изменение емкости конденсаторного микрофона будет менять общую емкость контура, а следовательно, и частоту генерируемых колебаний. Звуковые колебания, воздействующие на микрофон, будут вызывать изменение резонансной частоты генератора в такт с модулирующей частотой и в соответствии с ее силой. Этот способ осуществления частотной модуляции прост, но весьма несовершенен. Практически применяются более сложные и совершенные способы частотной модуляции.

Отличие приема частотно-модулированных колебаний от приема амплитудно-модулированных колебаний состоит в характере детектирования принятых сигналов. Если частотно-модулированные колебания подвести к обычному детектору, то сигнал воспроизвести не удастся, так как постоянные по амплитуде колебания после выпрямления дадут только постоянный ток. Для того чтобы превратить частотно-модулированные колебания в низкочастотные, их преобразуют сначала в колебания, модулированные по амплитуде, а затем детектируют обычным детектором, используемым при приеме амплитудной модуляции. Совершенно очевидно, что функции частотного детектора может выполнить дискриминатор, кратко рассмотренный выше (стр. 41) в схеме автоматической подстройки частоты и знакомый многим радиолюбителям.

Для того чтобы низкочастотный сигнал на выходе дискриминатора являлся только результатом частотной модуляции его входного напряжения, необходимо, чтобы сигнал, действующий на входе дискриминатора, не имел паразитной амплитудной модуляции. В частности, такая модуляция возникает в результате воздействия различного рода помех на сигнал. Эта паразитная амплитудная модуляция устраняется применением амплитудного огра-

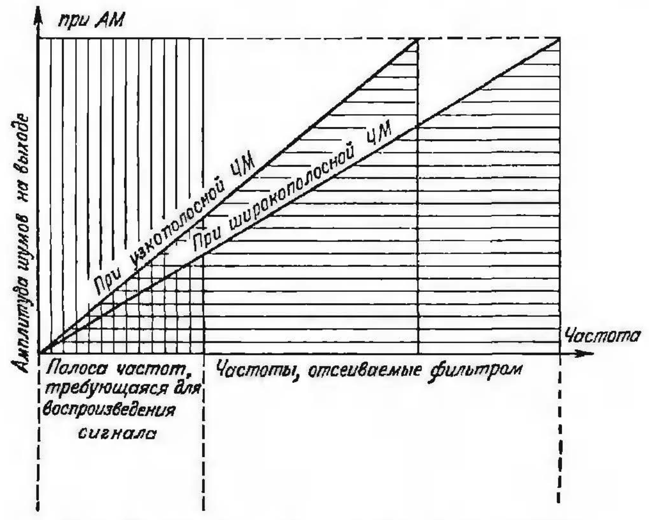
ничителя. Таким образом, прием частотно-модулированных колебаний не только позволяет, но и требует применения эффективного ограничения по амплитуде, обеспечивающего почти полное исключение всех изменений амплитуды сигнала за счет воздействия помех.

Но помехи, складываясь в приемнике с высокочастотными колебаниями полезного сигнала, вызывают не только изменение амплитуды; они изменяют и частоту полезного сигнала, т. е помимо паразитной амплитудной модуляции, вносят еще и паразитную частотную модуляцию. Эта паразитная частотная модуляция и обусловливает мешающее действие помех радиоприему частотно-модулированных колебаний, проявляющееся на выходе приемника в виде шумов и тресков. Однако на выходе приемника частотго-модулированных колебаний эти шумы, по сравнению с приемником амплитудно-модулированных колебаний, во много раз менее интенсивны, так как паразитная частотная модуляция полезного сигнала при воздействии на него помех, как показывают исследования, оказывается значительно слабее амплитудной модуляции того же сигнала.

Следует далее иметь в виду следующее очень важное обстоятельство. Если в приемнике амплитудно-модулированных колебаний помехи после детектирования дают сплошной спектр мешающих звуковых частот одинаковой интенсивности, то в приемнике частотно-модулированных колебаний интенсивность колебаний мешающих звуковых частот на выходе оказывается прямо пропорциональной их частоте. Следствием этого положения, вытекающего из различия характера детектирования амплитудно-модулированных и частотно-модулированных колебаний, в приемнике частотно-модулированных колебаний громкость колебаний низких мешающих звуковых частот (наиболее хорошо воспринимаемых человеческим ухом) оказывается значительно меньшей.

На фиг. 34 показано различие в спектрах шума на выходе приемника частотно-модулированных колебаний и приемника колебаний, модулированных по амплитуде. Здесь спектр шумов на выходе приемника амплитудно-модулированных колебаний изображен в виде прямоугольника, заштрихованного вертикальными линиями, а спектр шумов на выходе приемника частотно-модулированных колебаний — в виде треугольника, заштрихован-

ного горизонтальными линиями. Этот график наглядно иллюстрирует преимущество частотной модуляции перед амплитудной — интенсивность мешающих звуковых колебаний, расположенных в полосе частот, требуемой для воспроизведения сигнала в приемнике частотно-модулированных колебаний, значительно меньше. Что касается частот, лежащих вне этой полосы, то они могут быть



Фиг. 34. Спектр шумов на выходе приемников частотно-модулированных и амплитудно-модулированных колебаний.

отсеяны специальным фильтром и поэтому мешающего влияния не окажут.

График, далее, показывает, что уровень шумов в интересующей нас области частот снижается по мере увеличения девиации частоты — при так называемой широкополосной частотной модуляции он ниже, чем при узкополосной. Таким образом, прием частотно-модулированных колебаний в отличие от приема амплитудно-модулированных колебаний, характеризуется очень интересной особенностью — чем шире полоса пропускания приемника, тем ниже уровень помех на его выходе.

Следует, однако, иметь в виду, что это положение справедливо лишь при значительной величине отношения

сигнал/помеха на входе приемника. Если же уровень помех приближается к уровню сигнала, то расширение полосы пропускания приемника оказывается вредным. Теория и практика показывают, что каждой величине отношения сигнал/помеха соответствует наивыгоднейшее значение девиации частоты. При значительном превышении сигнала над уровнем помех целесообразно применять широкополосную частотную модуляцию; когда же отношение сигнал/помеха ненамного превышает 1, узкополосная частотная модуляция дает лучший эффект подавления помех.

Своеобразный характер спектра помех на выходе приемника частотно-модулированных колебаний позволяет путем осуществления некоторых мероприятий произвести дополнительное, причем весьма существенное ослабление влияния помех на радиоприем. К таким мероприятиям, например, относится так называемое «подчеркивание» высоких звуковых частот на передатчике при соответственном ослаблении этих частот в приемнике. При правильном использовании этого способа выигрыш в ослаблении помех увеличивается очень сильно.

Частотная модуляция выгодно отличается от амплитудной еше и тем, что передатчик частотно-модулированных колебаний при одинаковой номинальной мощности ламп излучает в 4 раза более высокую мощность, чем передатчик для амплитудной модуляции при коэффициенте модуляции, равном единице, так как ЧМ передатчик работает в «телеграфной точке».

Перечисленные достоинства частотной модуляции позволяют сделать вывод, что в отношении борьбы с различного рода радиопомехами, уровень которых ниже сигнала, переход от амплитудной модуляции к частотной равноценен увеличению мощности передатчика во много сотен раз.

Итак, частотная модуляция по сравнению с амплитудной имеет очень важные преимущества. В связи с этим не могут не возникнуть соображения об отказе от амплитудной модуляции и переходе вообще на частотную модуляцию. Однако полностью заменить амплитудную модуляцию частотной не представляется возможным. Применение частотной модуляции требует значительного расширения полосы частот (например, при широкополосной частотной модуляции передача самых громких звуков

происходит при девиации 75 *кгц*). Кроме того, ее нельзя использовать при работе пространственными волнами, так как явление замираний в этом случае будет сказываться значительно сильнее. Поэтому частотную модуляцию целесообразно применять на ультракоротких волнах, ширина спектра которых позволяет расстановку многих широкополосных передатчиков и которые распространяются прямым лучом в пределах прямой видимости. Это будут волны порядка 7 *м* и короче.

В нашей стране частотная модуляция изучается давно. Первое исследование воздействия помех на прием частотно-модулированных колебаний было проведено советскими специалистами В. И. Сифоровым, В. Б. Пестряковым и др. в 1936—1938 гг. Из года в год все шире становятся области применения частотной модуляции, изыскиваются пути преодоления ее недостатков.

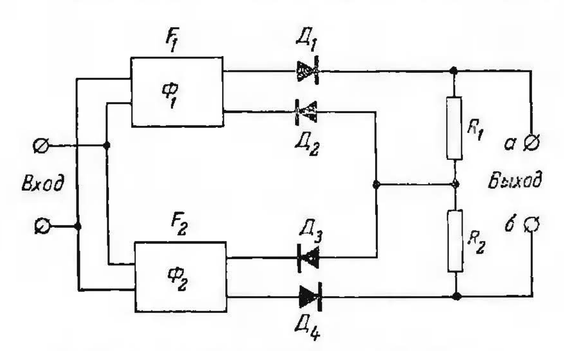
Частотная манипуляция

При амплитудной манипуляции радиотелеграфных передатчиков передаваемые знаки представляют собой комбинации из посылок и пауз. Посылке соответствует излучение антенной передатчика радиоволн, а паузе — прекращение, отсутствие излучения. При частотной манипуляции посылке соответствует излучение радиоволн частоты f_1, а паузе — излучение радиоволн частоты f_2. Таким образом, при частотной манипуляции перерывов в излучении нет. Поэтому этот способ радиотелеграфии называют еще способом «активной паузы».

Прием радиотелеграфной передачи с «активной паузой» осуществляется с помощью обычного приемника, дополненного в низкочастотном тракте специальным устройством. Назначение этого устройства аналогично назначению дискриминатора в приемнике частотно-модулированных сигналов, и его также называют частотным дискриминатором. С помощью второго гетеродина принимаемые сигналы частоты f_1 и f_2 преобразуются в колебания низкой частоты F_1 и, соответственно, F_2. Фильтры $Ф_1$ и $Ф_2$ частотного дискриминатора (фиг. 35) эти колебания разделяют и подводят к выпрямителям $Д_1$, $Д_2$, $Д_3$ и $Д_4$.

Если на входе частотного дискриминатора действует напряжение частоты F_1, то работают выпрямители $Д_1$ и

$Д_2$, и на нагрузке R_1 создается падение напряжения. С зажимов *а — б* при этом снимается напряжение положительной полярности. Когда передача посылки заканчивается и начинается передача «паузы», на вход дискриминатора будет действовать напряжение частоты f_2. В этом случае будут работать выпрямители $Д_3$ и $Д_4$, а на зажимах *а—б* напряжение изменит свою полярность на отрицательную. Таким путем частотный дискриминатор превращает принимаемые сигналы от двух частот



Фиг. 35. Скелетная схема частотного дискриминатора.

в положительные и отрицательные импульсы постоянного тока, которые могут быть подведены к реле ондулятора или буквопечатающему аппарату. Следует иметь в виду, что нормальная работа такой системы обеспечивается только тогда, когда оба канала по своим электрическим параметрам совершенно одинаковы.

При использовании частотной манипуляции повышение помехозащищенности радиоприема в основном достигается вследствие следующих причин:

1. Импульсные и «гладкие» помехи обладают непрерывным спектром частот. Поэтому при условии одинаковой полосы пропускания фильтров $Ф_1$ и $Ф_2$ и, вообще, при полной идентичности обоих каналов дискриминатора помехи создают в каждом из этих каналов практически одинаковые токи, которые благодаря применяемой схеме включения нагрузки (такую схему включения нагрузки называют дифференциальной) в большой степени ком-

пенсируют друг друга. Правда, компенсация получается только в том случае, если помехи действуют в отсутствии сигнала, но и при одновременном действии помехи и сигнала, за счет частичной компенсации, вредное действие помех значительно уменьшается.

2. Отсутствие пауз позволяет применять весьма быстродействующую автоматическую регулировку чувствительности, что обеспечивает защиту радиоприема от самых кратковременных замираний.

3. При радиотелеграфной передаче с «активной паузой» значительно снижается мешающее действие периодических помех, создаваемых посторонними радиостанциями. Это обусловливается несимметричным действием мешающего сигнала на оба канала дискриминатора.

Все эти перечисленные и некоторые другие факторы определяют значительно бóльшую помехозащищенность радиотелеграфного приема при использовании частотной манипуляции. Поставленные специально опыты для выяснения степени повышения устойчивости связи при переходе от амплитудной манипуляции к частотной показали, что этот переход дает эквивалентный выигрыш по мощности от 4 до 9 раз. Причем выигрыш получается тем значительнее, чем хуже в этот момент качество радиосвязи при передаче способом амплитудной манипуляции.

Весьма хорошей иллюстрацией степени помехозащищенности линий радиосвязи, использующих частотную манипуляцию, является тот факт, что на этих линиях уже несколько лет обеспечивается устойчивый и качественный радиоприем (даже при отношении сигнал/помеха примерно равном единице).

Как правило, частотная манипуляция применяется для пишущего и буквопечатающего радиотелеграфного приема.

Радиотелефония на одной боковой полосе частот

Излучаемый обычным передатчиком амплитудно-модулированных колебаний спектр частот состоит из несущей частоты и двух боковых полос частот, расположенных по обе стороны от несущей. Однако воспроизведение приемником сообщения, переданного посредством высокочастотных колебаний, модулированных по амплитуде,

не обязательно требует двух боковых полос. Процесс детектирования амплитудно-модулированных колебаний может быть осуществлен и тогда, когда на вход детектора поступят только одна боковая полоса и несущая частота. Таким образом, при передаче амплитудно-модулированных колебаний одну боковую полосу из спектра частот, излучаемых передатчиком, можно исключить.

Помимо сокращения спектра частот на одну боковую полосу, можно также не излучать несущую частоту и ограничиться передачей только одной боковой полосы частот. В приемнике же для обеспечения детектирования достаточно воссоздать искусственно несущую частоту с помощью вспомогательного гетеродина. Если эта искусственная несущая не будет отличаться более чем на 10—15 *гц* от номинального значения несущей передатчика, то практически частотных искажений наблюдаться не будет.

Однополосная передача амплитудно-модулированных колебаний дает следующие существенные преимущества в отношении помехозащищенности приема:

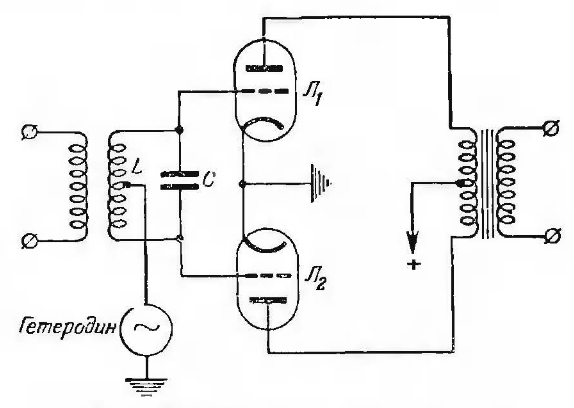
1. Полоса пропускания приемника, по сравнению с приемом колебаний, модулированных по амплитуде обычным способом, может быть сокращена в два раза. Это позволяет соответственно понизить помехи на выходе приемника и повысить избирательность в отношении мешающих станций.

2. При обычном способе передачи амплитудно-модулированных колебаний амплитуда несущей частоты значительно превосходит амплитуды боковых частот. Это означает, что мощность несущей частоты составляет большую долю всей излучаемой передатчиком мощности. Исключая из излучаемого спектра несущую частоту и одну из боковых полос, можно значительно (до 4 раз) увеличить мощность сигнала.

Кроме того, однополосная передача позволяет применить в приемниках балансный детектор, который обладает важным положительным свойством.

Схема балансного детектора приведена на фиг. 36. Если частота колебаний вспомогательного гетеродина точно совпадает с номинальным значением несущей частоты, то частота биений между гетеродином и сигналом будет равна частоте модуляции принятых колебаний.

фазы огибающих биений на сетках обеих ламп противоположны. Следовательно, результаты детектирования в этих лампах, которые включены по двухтактной схеме, будут складываться. Пусть теперь на вход балансного детектора вместе с сигналом поступают амплитудно-модулированные колебания мешающей станции. Так как огибающая мешающих колебаний будет иметь на сетках обеих ламп одинаковые фазы, то результаты детектирования мешающих колебаний в анодной цепи будут вычитаться. Таким



Фиг. 36. Схема балансного детектора.

образом, балансный детектор способствует повышению избирательности однополосного приемника.

Общий выигрыш в результате применения радиотелефонии на одной боковой полосе, по сравнению с обычной двухполосной радиотелефонией, как показывает опыт, равноценен увеличению мощности передатчика в 16 раз.

Весьма серьезной трудностью при осуществлении однополосного приема является достижение достаточно точного совпадения величины искусственной несущей частоты с несущей, подавленной в передатчике. Особенно трудно это выполнить на коротких волнах.

Приемная и передающая аппаратура для радиотелефонии на одной боковой полосе значительно сложнее, чем при обычной двухполосной радиотелефонии, и в связи с этим способ однополосной работы нашел применение только для магистральных радиотелефонных линий связи.

Импульсные способы

Кроме перечисленных новых способов радиосвязи, за последние годы на сверхвысоких частотах (дециметровых и сантиметровых волнах) широкое применение нашли различного рода импульсные способы радиопередачи и радиоприема.

Особенность импульсных способов передачи состоит в том, что здесь излучение ведется короткими импульсами, следующими друг за другом с определенной частотой. Если такие импульсы подвергнуть модуляции, то можно осуществить любой вид передачи радиосигналов (телеграфирование, телефонирование и т. п.). Модуляция импульсов может осуществляться многими способами: изменением высоты или ширины импульсов, сдвигом импульсов во времени и др.

Применение импульсных способов передачи открывает новые возможности для повышения помехозащищенности радиоприема, определяющиеся главным образом тем, что при импульсной передаче может быть повышена излучаемая мощность при том же расходе энергии передатчиком, какое имеет место при непрерывном излучении. Кроме того, здесь возможно применение ограничения по максимуму и минимуму, что дает дополнительный выигрыш в борьбе с помехами.

Помехозащищенность импульсного приема определяет, наряду с указанными факторами, также способ модуляции импульсов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, мы рассмотрели природу различного рода радиопомех, их мешающее влияние радиоприему и основные меры, которые использует радиотехника для борьбы с ними. Даже краткое изложение всех этих вопросов показывает, сколь сложна задача полной защиты радиоприема от помех. Однако как ни велики трудности в решении этой задачи, нет сомнения, что она все же будет решена.

Нельзя предположить, что это будет достигнуто за счет применения какого-либо одного «универсального» средства. Вся многолетняя история борьбы с радиопомехами показывает, что эта важнейшая проблема может быть разрешена только на основе тщательного изучения

особенностей многочисленных типов помех и их воздействия на приемное устройство, на основе разработки новых видов радиопередачи сигналов и при помощи усовершенствования методов радиоприема.

Неустанная работа советских ученых и инженеров над повышением помехозащищенности радиосвязи — залог успешного решения этой задачи.

СОДЕРЖАНИЕ

ВЕЛИЧИНА ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ПОМЕХА, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ РАДИООБМЕНА

Род работы	Отношение сигнал/помеха	
	Едва удовлетворительный прием	Очень хороший прием
Слуховой прием	1	2
Ондуляторный быстродействующий прием .	2	5
Буквопечатание	7	25
Фототелеграфия (черное-белое, полоса 3 *кгц*)	2	5
Коммерческая радиотелефония	4	30
Радиовещание	7	100

ЗАВИСИМОСТЬ КАЧЕСТВА РАДИОТЕЛЕФОННОГО ПРИЕМА ОТ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ПОМЕХА

Отношение сигнал/помеха, *дб*	Оценка качества
0	Непонятно
1÷5	Слышно, но разговор невозможен
6÷8	Много повторений (для абонентской связи непригоден)
9÷18	Служебная связь, почти абонентская
18÷38	Удовлетворительно
38÷48	Хорошо
больше 48	Очень хорошо

Цена 2 р. 15 к.

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ
Москва, Шлюзовая набережная, дом 10

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Под общей редакцией академика А. И. БЕРГА

ПЕЧАТАЮТСЯ И В БЛИЖАЙШЕЕ ВРЕМЯ ПОСТУПЯТ В ПРОДАЖУ

ЮРЧЕНКО В. П., Первая книга по телевидению.
СЛАВНИКОВ Д. К., Сельский радиоузел.
БАТРАКОВ А. В. и КЛОПОВ А. Я., Рассказ о телевизоре начинающего телезрителя.
ЗАРВА В. А., Магнитные явления.
БЕЛЯЕВ А. Ф. и ЛОГИНОВ В. Н., Кристаллические усилители.
СУТЯГИН В. Я., Любительский телевизор.

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ И ПОСТУПИЛИ В ПРОДАЖУ

БАТРАКОВ А. Д. и КИН С., Элементарная радиотехника, часть первая. Детекторные приемники, стр. 136, ц. 3 р. 85 к.
ВАЙНШТЕЙН С. С. и КОНАЩИНСКИЙ Д. А., Задачи и примеры для радиолюбителей, стр. 176, ц. 6 р. 10 к.
ГЕРШГАЛ Д. А. и ДАРАГАН-СУЩЕВ В. И., Самодельный вибропреобразователь, 40 стр., ц. 1 р. 15 к.
ЕГОРОВ В. А., Техника безопасности в радиолюбительской работе, 16 стр., ц. 50 к.
КОРОЛЬКОВ В. Г., Механическая система записи звука, 80 стр., ц. 2 р. 45 к.
МАЗЕЛЬ К. Б., Выпрямители и стабилизаторы напряжения, 120 стр., ц. 3 р. 55 к.
МАКСИМОВ М. В., Телеизмерительные устройства, 56 стр., ц. 1 р. 70 к.
ПЕТРОВСКИЙ Б. Н., В помощь радиолюбителю-рационализатору, 32 стр., ц. 1 р.

ПРОДАЖА во всех книжных магазинах и киосках

Мне всегда нравились старые, сильно потрёпанные книжки. Потрёпанность книги говорит о её высокой востребованности, а старость о вечно ценном содержании. Всё сказанное в большей степени касается именно технической литературы. Только техническая литература содержит в себе ту великую и полезную информацию, которая не подвластна ни политическим веяниям, ни моде, ни настроениям! Только техническая литература требует от своего автора по истине великих усилий и знаний. Порой требуется опыт целой жизни, чтобы написать небольшую и внешне невзрачную книгу.

К сожалению ни что не вечно в этом мире, книги треплются, разваливаются на отдельные листы, которые затем рвутся в клочья и уходят в никуда. Плюс ко всему орды варваров, которым без разницы, что бросить в костёр или чем вытереть свой зад. Именно их мы можем благодарить за сожженные и растоптанные библиотеки.

Если у Вас есть старая книга или журнал, то не дайте им умереть, отсканируйте их и пришлите мне. Совместными усилиями мы можем создать по истине уникальное и ценное собрание старых технических книг и журналов.

Сайт старой технической литературы:

http://retrolib.narod.ru